

RELAÇÕES ENTRE SISTEMAS DE PREPARO, TEMPERATURA
E UMIDADE DO SOLO.

Júlio Cesar Salton ¹

Dissertação apresentada como um dos requisitos a obtenção do grau de mestre em Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre
Setembro, 1991

¹/Engenheiro Agrônomo (UPF,RS/ COOAGRI,MS)

23 JUL 1992

D: Do autor

CIP - CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

S179r Salton, Júlio Cesar
Relações entre sistemas de preparo, temperatura
e umidade do solo / Júlio Cesar Salton. - Porto A-
legre : UFRGS, 1991.
xi, 92f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em
Agronomia - Ciência do Solo, Porto Alegre, 1991.

1. Umidade do solo. 2. Cultivo do solo. 3. Aná-
lise do solo : Temperatura. 4. Podzolic vermelho
escuro. I. Título.

CDD: 631.51

CDU: 631.51(043.3)

Catálogo na publicação: Biblioteca Setorial
da Faculdade de Agronomia da UFRGS.

15246

T
631.51
S179R
E.2

AGR
1992/43513-3
1992/07/24

JULIO CESAR SALTON
Engº Agrº (UPF)

DISSERTAÇÃO

Submetida como um dos requisitos
para obtenção do Grau de

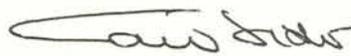
MESTRE EM CIENCIA DO SOLO

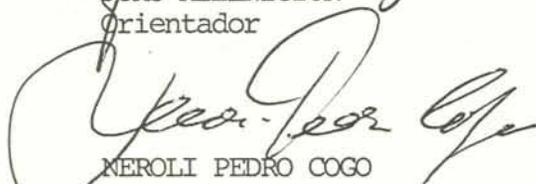
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
FACULDADE DE AGRONOMIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PORTO ALEGRE(RS), BRASIL

Aprovada em: 20.09.1991
Pela Banca Examinadora

Homologada em: 28.10.1991
Por:


JOÃO MIELNICZUK
Orientador


CAIO VIDOR
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Agronomia


NEROLI PEDRO COGO


LUIS CARLOS HERNANI
EMBRAPA/UEPAE/DOURADOS


RONALDO MATZENAUER
IPAGRO


EMA MAGALHÃES LEBOUTE
Diretora da Faculdade de
Agronomia

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos ao professor João pela orientação e exemplo profissional;

Aos colegas do curso de Solos pela amizade e companherismo;

Aos professores do Departamento de Solos pelos conhecimentos transmitidos;

Aos funcionários do Departamento de Solos e da Estação Experimental pela colaboração prestada;

A COOAGRI por viabilizar minha participação no curso;

A CAPES e CNPq pelo auxílio financeiro;

A Lana e ao Julinho pelo apoio e compreensão.

RELAÇÕES ENTRE SISTEMAS DE PREPARO, TEMPERATURA E UMIDADE DO SOLO.^{/1}

Autor: Júlio Cesar Salton
Orientador: João Mielniczuk

RESUMO

Durante o período de setembro/90 a janeiro/91, foram determinadas a temperatura e a umidade de um solo Podzólico Vermelho-escuro da Estação Experimental Agronômica da UFRGS, região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, cultivado desde 1985 com a sucessão aveia+trevo/milho em preparo convencional, preparo reduzido e plantio direto. Propriedades do solo (densidade, umidade, capacidade calorífica e porcentagem de cobertura) e componentes climáticos (radiação global, temperaturas máxima, mínima e média do ar) foram relacionados com a temperatura do solo a 5 cm de profundidade, estabelecendo-se modelos matemáticos para predição da temperatura máxima, mínima e amplitude térmica diária do solo. O plantio direto apresentou ao longo do período, menores temperaturas máximas e menor amplitude de variação da temperatura do solo, enquanto o preparo convencional apresentou os maiores valores das máximas.

Com a umidade gravimétrica do solo, densidade e curvas de retenção de umidade em diferentes profundidades, construiu-se perfis de umidade do solo, onde verificou-se os efeitos da porcentagem de cobertura e propriedades físicas do solo nas perdas de água por evaporação. O plantio direto apresentou maiores valores de umidade do solo em todo o período e o preparo convencional os menores, principalmente na camada superficial de 0 a 5 cm de profundidade.

^{/1} Dissertação de mestrado em Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. (92 f.) setembro de 1991.

SOIL TILLAGE, TEMPERATURE AND MOISTURE
RELATIONS.¹

Author: Júlio Cesar Salton
Adviser: Prof. João Mielniczuk

SUMMARY

During the period of september/90 to january/91, the soil temperature at 5 cm depth and soil moisture up to 40 cm depth were determined, in an experiment with oat + clover/corn under conventional, reduced or no-tillage, established in 1985, on a Paleudult soil of Rio Grande do Sul Central Depression, Brazil. Soil properties (bulk density, moisture, heat capacity and percentage of cover) and climatic components (global radiation, maximum, minimum and mean air temperature) were used to estimate the maximum, minimum and daily amplitude of soil temperature at 5 cm depth. The no-tillage presented lower daily amplitude, and the conventional tillage the highest values.

With the soil moisture values, and soil moisture retention curves, the soil moisture profiles for different days of sampling were prepared, in order to discuss the effect of soil cover and soil properties on water evaporation losses. The no-tillage presented the largest soil moisture content during the period and the conventional tillage the lower, mainly in the 0 a 5 cm soil layer.

¹/ M.Sc. dissertation in Soil Science, Graduate Program in Agronomy, Agricultural School, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre (92 f.) - september, 1991.

SUMARIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	
2.1 Temperatura do solo.....	3
2.2 Propriedades térmicas do solo.....	5
2.2.1 Calor específico e capacidade calorí- fica.....	5
2.2.2 Condutividade e difusividade térmica..	6
2.3 Efeitos da cobertura na temperatura do solo.	8
2.4 Temperatura e os processos biológicos no so- lo.....	10
2.5 Água no solo e sua evaporação.....	11
2.5.1 Efeitos do preparo do solo.....	13
2.5.2 Efeitos da cobertura do solo.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	
3.1 Localização e caracterização da área experimental.....	17
3.2 Histórico da área experimental.....	18
3.3 Tratamentos e delineamento experimental....	18
3.4 Procedimento experimental.....	19
3.5 Determinações	
3.5.1 Temperatura do solo.....	22
3.5.2 Umidade do solo.....	22
3.5.3 Curva característica de retenção de água no solo.....	23
3.5.4 Densidade e porosidade do solo.....	24
3.5.5 Capacidade calorífica do solo.....	25
3.5.6 Cobertura do solo.....	25
3.5.7 Dados meteorológicos.....	26
3.5.8 Tratamento estatístico.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	
4.1 Elementos meteorológicos.....	28
4.2 Cobertura do solo.....	30
4.3 Temperatura do solo.....	34
4.4 Densidade do solo.....	51
4.5 Capacidade de retenção de água pelo solo em função dos sistemas de preparo.....	53
4.6 Conteúdo e estado energético da água afetados pelos sistemas de preparo.....	57
4.7 Rendimento do milho.....	68

5. CONCLUSÕES.....71
6. BIBLIOGRAFIA.....72
7. APÊNDICES.....77

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1 - Variação da cobertura do solo (%) por resíduos culturais de aveia+trevo, no início e final do ciclo do milho em plantio direto(PD), preparo reduzido (PR) e preparo convencional (PC). (média de 2 repetições).....	32
2 - Modelos matemáticos desenvolvidos para predição da temperatura mínima (t_{\min}), temperatura máxima (t_{\max}) e variação da amplitude diária (amplit) da temperatura do solo.....	45

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1 - Esquema da área experimental. EEA/UFRGS.....	21
2 - Distribuição decendial das chuvas no período de setembro de 90 a janeiro de 91, na Estação Experimental Agronômica da UFRGS.....	29
3 - Teor de matéria orgânica no solo sob plantio direto(PD), preparo reduzido(PR) e preparo convencional(PC) em 4 profundidades. (Adaptado de Mello,1991). Letras diferentes indicam diferenças significativas ao nível de 5% pelo teste Tukey.....	33
4 - Evolução da temperatura mínima do ar e temperatura do solo as 9 h em plantio direto (PD), preparo convencional (PC) e preparo reduzido (PR), a profundidade de 5 cm. no período de setembro/90 a janeiro/91.....	35
5 - Evolução da temperatura máxima do ar e temperatura do solo as 15 h em plantio direto (PD), preparo convencional (PC) e preparo reduzido (PR), a 5 cm de profundidade, no período de setembro/90 a janeiro/91.....	37
6 - Evolução da amplitude diária da temperatura do ar e a variação da temperatura do solo entre 9 e 15 h em plantio direto (PD), preparo convencional (PC) e preparo reduzido (PR), a 5 cm de profundidade, no período de setembro/90 a janeiro/91.....	39
7 - Evolução da temperatura do solo a 5 cm. de profundidade, sob plantio direto (PD), preparo reduzido (PR) e preparo convencional (PC), nos dias 28/09 (a), 5/10 (b), 9/01 (c) e 11/01 (d)...	41
8 - Capacidade calorífica volumétrica de um solo PVE sob plantio direto (PD), preparo reduzido (PR) e preparo convencional (PC), nos dias 9 e 11/01 e a média do período experimental (set/90 a jan/91) em duas profundidades.....	43
9 - Relação entre os valores de temperatura mínima do solo a 5 cm de profundidade, observados as 9 h e preditos por modelo matemático com as variáveis: temperatura média do ar em °C (tmar), radiação global em cal/cm ² dia (RS), porcentagem de umidade volumétrica do solo na camada 0 a 5 cm (UV) e porcentagem de cobertura do solo (CS).....	46

10 - Relação entre os valores de temperatura máxima do solo a 5 cm de profundidade, observados as 15 h e preditos por modelo matemático com as variáveis: temperatura máxima do ar em °C (tmxr), radiação global em cal/cm ² dia (RS), porcentagem de umidade volumétrica do solo na camada 0 a 5 cm (UV) e porcentagem de cobertura do solo (CS).	48
11 - Relação entre os valores de amplitude diária da temperatura do solo a 5 cm de profundidade, entre as 9 e 15 h, observados e preditos por modelo matemático com as variáveis: porcentagem de cobertura do solo (CS), capacidade calorífica do solo da camada 0 a 5 cm em MJ/m ³ °K (CC), temperatura máxima do ar (tmax) em °C e temperatura mínima do ar (tmin) em °C.....	50
12 - Densidade do solo (g/cm ³) sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC) em quatro profundidades. Letras diferentes indicam diferença significativa entre médias, na mesma profundidade, pelo teste Tukey ao nível de 5 %.....	52
13 - Curva característica de retenção de água em um solo PVE, na profundidade 0 a 2 cm, submetido a plantio direto (PD) e preparo convencional (PC). Valores médios de seis repetições.....	54
14 - Umidade volumétrica do solo no perfil de 0 a 40 cm de profundidade, nos potenciais de 0; 0,006; -0,03 e -1,5 MPa no plantio direto e no preparo convencional.....	56
15 - Lâmina de água acumulada no perfil do solo até a profundidade de 40 cm, nos potenciais de 0; -0,006; -0,03; e -1,5 MPa, em plantio direto e preparo convencional.....	58
16 - Evolução da umidade volumétrica no perfil do solo até a profundidade de 40 cm, nos dias 24, 26, 28/09 e 1/10, em plantio direto e preparo convencional. Como referência a umidade volumétrica do solo nos potenciais de -0,006 e -1,5 MPa.....	60
17 - Evolução da umidade volumétrica no perfil do solo até a profundidade de 40 cm, nos dias 15 e 17/10, em plantio direto e preparo convencional. Como referência a umidade volumétrica do solo nos potenciais de -0,006 e -1,5 MPa.....	62

- 18 - Evolução da umidade volumétrica no perfil do solo até a profundidade de 40 cm, nos dias 21 e 26/11, em plantio direto e preparo convencional. Como referência a umidade volumétrica do solo nos potenciais de -0,006 e -1,5 MPa..... 64
- 19 - Evolução da umidade volumétrica no perfil do solo até a profundidade de 40 cm, nos dias 28 e 30/11, em plantio direto e preparo convencional. Como referência a umidade volumétrica do solo nos potenciais de -0,006 e -1,5 MPa..... 66
- 20 - Evolução da umidade volumétrica no perfil do solo até a profundidade de 40 cm, nos dias 12, 15 e 17/12, em plantio direto e preparo convencional. Como referência a umidade volumétrica do solo nos potenciais de -0,006 e -1,5 MPa..... 67
- 21 - Evolução da umidade volumétrica no perfil do solo até a profundidade de 40 cm, nos dias 9, e 11/01, em plantio direto e preparo convencional. Como referência a umidade volumétrica do solo nos potenciais de -0,006 e -1,5 MPa..... 69

1 - INTRODUÇÃO

Nas regiões tropicais e subtropicais, onde geralmente ocorrem elevadas temperaturas e chuvas de alta intensidade com distribuição irregular, algumas práticas de manejo do solo originárias de regiões temperadas não são adequadas.

Nestas regiões ocorrem elevadas temperaturas do solo e grande variação da amplitude diária, durante o período de implantação das principais culturas anuais de primavera e verão. Tais fenômenos trazem consequências negativas aos processos de germinação e estabelecimento das plantas, e nas fases seguintes afetam o crescimento radicular e a absorção de nutrientes, dentre outros processos.

A desuniformidade de distribuição das chuvas causa frequentes estiagens durante o período de crescimento das culturas; sendo na maioria das vezes coincidentes com períodos de elevada demanda evaporativa atmosférica, resultando em um rápido secamento do solo por evaporação. A combinação destes fenômenos resulta em prejuízos devido a redução do rendimento das culturas.

Atualmente vem sendo desenvolvidos estudos, buscando a adequação de sistemas de preparo do solo e de

culturas, para as condições tropicais e subtropicais. Estes baseiam-se na manutenção da cobertura do solo, reduzindo desta maneira a intensidade dos efeitos decorrentes destas condições climáticas.

Com base nestes aspectos, desenvolveu-se o presente trabalho, objetivando verificar os efeitos de sistemas de preparo do solo, na alteração das propriedades do solo e quantificar a participação destas na variação da temperatura e no conteúdo de água no perfil, durante o período correspondente ao ciclo do milho.

2 - REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 - Temperatura do solo

A temperatura do ar e do solo afeta diretamente a distribuição e o crescimento dos vegetais existentes na superfície terrestre e a formação dos diferentes ambientes naturais (FORSYTHE, 1967).

As espécies apresentam faixas de temperaturas ideais onde o desenvolvimento ocorre em taxas normais, valores abaixo ou acima desta faixa, reduzem os processos biológicos. Em regiões de clima temperado, onde ocorrem baixas temperaturas, o aumento da temperatura beneficia os processos, porém, em regiões tropicais, que apresentam temperaturas mais elevadas, com a ultrapassagem dos limites superiores da faixa ótima, ocorre inibição destes processos (BUDYKO, 1974)

O regime térmico do solo resulta do fluxo de energia que o solo recebe, das suas propriedades térmicas e da troca de calor entre o solo e o ar. A fonte energética é o sol, cuja energia radiante chega a atmosfera terrestre através da radiação de onda curta (0,2 a 4 μm). Do total da energia irradiada pelo sol, cerca de 45% incide na superfície da terra perpendicular aos raios solares, 28% é

refletida pelas nuvens para o espaço exterior, 16% é absorvida por moléculas de dióxido de carbono, ozônio e vapor de água na atmosfera, e o restante da radiação dispersa é devolvida ao espaço exterior (11%). A fração que chega a superfície do solo é constituída de radiação do céu (26%) e incidência direta dos raios sobre a superfície terrestre (19%)(BAVER et al, 1973).

A quantidade de energia que chega ao solo em um determinado local varia em função da constituição da atmosfera, da latitude e época do ano. A incidência da radiação solar em uma superfície horizontal no equador, apresenta pequena amplitude durante o ano, porém, na medida que a latitude aumenta, a amplitude de variação também aumenta. Os menores valores são atingidos no inverno e os maiores no verão. Em superfícies inclinadas, a quantidade de radiação solar incidente é função, também, do declive e da orientação. Assim, a orientação norte proporciona, para condições do hemisfério sul, maior radiação que a sul, sendo a intensidade diretamente proporcional a declividade, até atingir o ponto em que a incidência da radiação solar seja perpendicular à superfície (TUBELIS,1987).

Da radiação global incidente sobre a superfície, parte é absorvida e manifesta-se pelo aquecimento do solo e da camada de ar sobre o mesmo (calor sensível), além de proporcionar o calor latente para evaporação da água do solo. A outra parte da radiação global é refletida como radiação de onda longa (4 a 120 μm) (REICHARDT,1985). O

poder de reflexão de uma superfície é denominado de albedo, expresso como uma fração de energia solar que é refletida por uma superfície, tendo o valor de uma unidade quando reflete 100% do total incidente (cor branca) e zero quando absorve 100% do total (cor preta).

Deste balanço de radiação que ocorre na superfície do solo, resulta um saldo de energia que, após ser absorvida, é transformada em energia térmica, que promove a variação da temperatura do solo, originando um gradiente de temperatura tanto no solo quanto na atmosfera. O calor se transmite dentro do solo obedecendo os gradientes formados, deslocando-se por condução, do ponto de temperatura mais alta para o de mais baixa. Na atmosfera, a transmissão de calor dá-se por convecção. A direção e o sentido do fluxo são definidos pelo gradiente e a intensidade do fluxo relaciona-se com as propriedades térmicas do solo e da atmosfera.

2.2 - Propriedades térmicas do solo

2.2.1 - Calor específico e capacidade calorífica

Calor específico de um material é definido como a quantidade de calor sensível cedida ou recebida por uma unidade de massa ou volume do material quando a temperatura varia de um grau. Cada material apresenta valor característico de calor específico. Como o solo é composto por

minerais, água, ar e material orgânico em diferentes proporções, o somatório do calor específico ponderado de cada componente resulta na capacidade calorífica volumétrica do solo (TAYLOR & ASHCROFT, 1972). Para a água, o calor específico é igual a 1 cal/g °C, para húmus 0,4 cal/g °C, para quartzo, caulim, Fe₂O₃ em torno de 0,2 cal/g °C e para o ar o valor é muito baixo que pode ser desconsiderado. TUBELIS (1972) cita valores de 0,21 e 0,19 cal/g °C para um Latossolo vermelho e um Podzólico vermelho-amarelo, respectivamente.

2.2.2 - Condutividade e difusividade térmica

A condutividade térmica é a capacidade de um material transmitir calor por condução entre pontos de diferentes temperaturas. O aumento da temperatura em um ponto de um sistema aumenta a frequência e a intensidade das vibrações das moléculas. A colisão entre as moléculas da região de maior temperatura com as da menor desencadeia vibrações e, com isto, a propagação do calor, sem que haja deslocamento das moléculas.

A condutividade térmica tem, portanto, relação com o tipo do material, densidade, estrutura, etc. e é definida a partir da lei de Fourier, segundo a qual a densidade de fluxo de calor (q) expresso em cal/cm²/s é proporcional ao gradiente de temperatura dt/dx, resultando na expressão

$$q = -K \frac{dt}{dx},$$

onde K é a constante de proporcionalidade, com valor específico para cada substância. Para o quartzo é de $26,3 \times 10^{-3}$ cal/cm² s °C, para a água $1,4 \times 10^{-3}$ cal/cm² s °C e para o ar $0,06 \times 10^{-3}$ cal/cm² s °C (BAVER et al, 1973).

Quanto maior for a densidade do solo, maior quantidade de sólidos estará contida em um mesmo volume de solo, conseqüentemente maior condutividade térmica, pois o quartzo é muito mais condutivo que o ar. Da mesma forma, para a mesma densidade, quanto maior for o conteúdo de água do solo, maior a sua condutividade térmica.

Neste sentido, POTTER et al. (1985) determinaram os valores de condutividade térmica na linha de semeadura para um solo de textura fina do Meio-Oeste dos Estados Unidos da América, os valores ficaram entre 8,7 e 11,5 cal/cm²/s °C no preparo convencional e entre 9,8 e 14,7 cal/cm²/s °C no plantio direto. Os autores atribuem as diferenças à prováveis alterações na distribuição de tamanho e arranjo dos poros causados pelos preparos do solo, uma vez que não encontraram diferenças significativas na umidade e densidade do solo.

A difusividade térmica do solo é expressa por K/C , ou seja, condutividade térmica do solo dividida pela capacidade térmica volumétrica deste solo. Em razão disto quanto maior for a capacidade calorífica, menor será a difusividade. JOHNSON & LOWERY (1985) quantificaram a difusividade térmica do solo sob diferentes sistemas de preparo, sendo de 5,39 e 7,88 m²/s x 10⁻⁷ no sistema de

semeadura direta, 3,93 e 6,42 $m^2/s \times 10^{-7}$ no preparo convencional, respectivamente para os anos de 1982 e 1983. As diferenças significativas encontradas são atribuídas às variáveis umidade e densidade do solo.

2.3 - Efeitos da cobertura na temperatura do solo.

A cobertura do solo afeta significativamente o seu regime térmico. A sua ação principal ocorre pela reflexão e absorção da energia incidente sobre a superfície do solo e depende da cor, tipo, quantidade e distribuição.

Os materiais claros refletem maior quantidade de energia, enquanto materiais escuros absorvem mais energia. MOSSIER & GUSTAFSON (1917) mantiveram em um experimento parcelas com a superfície do solo escura e clara, verificando que a temperatura do solo a 5 cm de profundidade foi 5,9°C superior na parcela escura. Verificaram também, sob condições de primavera e outono dos EUA, que a emergência e o crescimento inicial de plantas de trigo, aveia, milho e melão foram mais rápidas no solo com a superfície escura. A espécie cultivada e o grau de fracionamento dos restos culturais também afetam, além do albedo, a duração dos efeitos. Na medida que a decomposição evolui, facilitada pelo fracionamento, diminui a quantidade e a cor do material tende escurecer, aumentando a absorção de energia.

Quanto ao tipo de cobertura vegetal, esta pode ser proporcionada por palha (cobertura morta) ou por plantas em

desenvolvimento (cobertura viva). A cobertura viva do solo reduz a incidência da radiação solar por sombreamento, absorve energia utilizando-a para transpiração, além de formar sobre a superfície do solo um colchão de ar que, por ter condutividade térmica muito reduzida, retarda o aquecimento do solo. BRAGANGNOLO & MIELNICZUK (1991) ao analisarem o efeito da cobertura do solo de diferentes sistemas de culturas, observou maior eficiência da cobertura viva de siratro na redução da temperatura máxima do solo, embora não tenha sido o sistema com maior quantidade de massa seca residual, o que foi obtido com o sistema guandu/milho, este porém possuía material lenhoso, formando menor porcentagem de cobertura.

Além da qualidade da palha que cobre o solo, a quantidade de material, e a forma de deposição, atuam na redução da temperatura do solo. A palha depositada na superfície do solo pode formar uma camada de ar, cujo efeito no retardamento do aquecimento do solo é proporcional à sua espessura. A porcentagem de superfície do solo coberta, conseqüentemente a área de reflexão, é função da quantidade do material e sua distribuição. BRAGANGNOLO & MIELNICZUK, (1990a) avaliaram o efeito de doses de palha de trigo na temperatura de um PVE, onde verificaram um efeito de redução da temperatura máxima de 37,1 para 28,6°C com a dose de 7,5 t/ha de palha, este efeito manifestou-se proporcionalmente maior quando o solo estava mais seco. Neste caso, com maior umidade, o solo possuía maior capacidade

calorífica, demorando mais para aquecer-se, ocorrendo o inverso quando menos úmido.

A cobertura do solo também retarda o processo de aquecimento pela manutenção da sua umidade, uma vez que por reduzir a evaporação de água, mantém elevada a capacidade calorífica do solo. A adição e manutenção de material orgânico na superfície do solo também contribui para a elevação dos teores de matéria orgânica do solo, que possui calor específico muito superior a da porção mineral, além de reter mais água, resultando no aumento da capacidade calorífica do solo.

2.4 - Temperatura e os processos biológicos no solo.

Para cada espécie vegetal existe uma faixa ótima de temperatura, onde os processos ocorrem em intensidades ideais, fora da qual são muito lentos ou não ocorrem (POPININGIS, 1977). Desta forma, em regiões quentes, o processo de germinação de sementes e desenvolvimento inicial das plântulas pode ser afetado pelas elevadas temperaturas do solo. As leguminosas, devido a constituição de suas sementes, são sensíveis durante o processo de germinação, que pode ser retardado ou mesmo não ocorrer em temperaturas superiores a 40°C, como é o caso da soja, observado por HETFIELD & EGLI (1974). Enquanto que as gramíneas, que apresentam o ponto inicial de crescimento dentro do solo,

as temperaturas elevadas além de inibirem a germinação, podem também afetar o crescimento inicial das plântulas (LAL,1974).

O crescimento e funcionamento do sistema radicular é limitado por temperaturas extremas do solo. NIELSEM (1974) aponta efeitos da temperatura na absorção de água, disponibilidade de nutrientes, translocação, absorção e assimilação dos elementos.

A atividade microbiológica é particularmente afetada pela temperatura do solo, definindo grupos de organismos que atuam em determinada faixa de temperatura (ALEXANDER,1980). Como exemplo, GARCIA-BLASQUES (1989) verificou que a fixação simbiótica de nitrogênio em plantas de soja é reduzida em condições de solo descoberto com temperatura máxima de 38°C em comparação ao solo coberto com 6,6 t/ha de palha e temperatura máxima de 30°C.

2.5 - Água no solo e sua evaporação

A quantidade de água disponível para as plantas em um dado momento é uma função da quantidade e distribuição das chuvas, dos atributos do solo e das condições meteorológicas. No solo, os fluxos da água envolvem os processos de infiltração, redistribuição interna, absorção pelas plantas e evaporação, que ocorrem de forma interdependente.

Para que o processo de evaporação da água do solo ocorra é necessário que três condições sejam atendidas, ou

seja, contínuo suprimento de energia para mudança de estado da água; demanda evaporativa atmosférica; e contínuo suprimento de água do interior do solo para o sítio de evaporação (HILLEL, 1980). As duas primeiras estão relacionadas com as condições atmosféricas tais como: temperatura do ar, umidade, velocidade do vento e intensidade da radiação. O último requisito diz respeito a propriedades do solo, como o conteúdo e potencial da água e condutividade hidráulica.

LEMON (1956) separou o processo de evaporação em três fases. Inicialmente, estando o solo com água disponível, a evaporação é governada pelas condições atmosféricas (radiação, temperatura, umidade do ar e velocidade do vento). Nesta fase, a taxa de evaporação se mantém constante, e a intensidade depende da demanda evaporativa atmosférica. A duração desta fase está ligada ao conteúdo de água do solo. O conteúdo de água do solo reduz-se com a evaporação, e a superfície do solo ao secar atinge um determinado valor de umidade. Apartir deste ponto, a taxa de evaporação decresce bruscamente e o processo passa a ser comandado pelas condições do solo (conteúdo e estado energético da água, condutividade hidráulica, geometria do espaço poroso). Há ainda um terceiro estágio, que ocorre em condições em que o solo está quase seco, no qual as forças de adsorção de moléculas de água pelo solo passam a definir o processo evaporativo. Nesta fase a taxa de evaporação é muito reduzida.

2.5.1 - Efeitos dos sistemas de preparo do solo

Os sistemas de manejo tem larga faixa de efeitos na evaporação da água do solo. Em geral, o preparo expõe maior superfície de solo para a atmosfera, proporcionando maior área evaporativa e, conseqüentemente, maior perda de água. Entretanto, por secar a camada superficial e, com isto, reduzir a condutividade hidráulica, há uma redução no fluxo da água armazenada em maior profundidade para a superfície do solo. As proporções dos efeitos dependem da profundidade, grau e frequência dos preparos, além das condições posteriores do clima e reconsolidação da camada preparada (HILLEL,1980).

—▷ A infiltração da água no solo é alterada pelo sistema de manejo utilizado. Os sistemas de preparo do solo podem alterar a infiltração pelas modificações introduzidas quanto a rugosidade superficial, porosidade e cobertura do solo. A rugosidade superficial do terreno aumenta o volume de água retida sobre o solo e o tempo para iniciar o escoamento, aumentando desta forma o volume infiltrado. COGO et al.(1984) verificaram que a escarificação em relação ao solo não preparado aumentou a rugosidade superficial de 5,4 para 26,6 mm, o tempo de empoçamento de 3 para 37 minutos e a infiltração de 5 para 62% do volume total da chuva. No entanto o efeito do preparo do solo pode não ser duradouro. Dados de UNGER & CASSEL (1991) apontam valores de rugosidade de 8 mm no plantio direto e de 30 mm para o solo

arado, que após a terceira gradagem retorna aos 8 mm iniciais. A redução da rugosidade também ocorre em função das chuvas após o preparo, conforme observações feitas por BERTOL (1986) em um solo PVA do Rio Grande do Sul.

Alterações na distribuição de tamanho e arranjo dos poros do solo por sistemas de preparo afetam a retenção de água e a condutividade hidráulica do solo. Aumento da compactação do solo pode aumentar o volume de água retida a tensões mais negativas, devido ao acréscimo no volume total de poros pequenos (GUPTA et al., 1989). Sistemas de manejo que proporcionem grandes quantidades de matéria seca, por alterar os teores de matéria orgânica no solo, podem aumentar o volume total de água retida no solo, normalmente na faixa de água disponível para as plantas.

Sistemas de preparo com intensa mobilização do solo, promovem a remoção da cobertura e a desagregação do solo tornando-o mais susceptível à formação da crosta superficial, que reduz drasticamente a taxa e o volume da infiltração de água.

2.5.2 - Efeitos da cobertura do solo

A cobertura do solo proporcionada pelos manejos influencia a evaporação afetando a incidência de energia na superfície do solo. HILLEL (1980) ao analisar situações de baixo albedo e alto albedo da superfície do solo, encontrou grande efeito na redução da evaporação durante os três

primeiros dias no solo com maior albedo, sendo a diferença quase nula após o décimo dia. A camada de palha pode também reduzir a evaporação, por formar um ambiente na superfície do solo, onde a renovação do ar é mais lenta, possibilitando a ocorrência de maior umidade relativa do ar que na camada acima. Isto proporciona uma redução no gradiente de potencial da água entre o solo e a superfície, reduzindo o fluxo de água do solo para a atmosfera.

LEMON (1956), discute alternativas para reduzir as perdas de água por evaporação, dentre as quais, cita o uso da cobertura morta e o aumento da rugosidade superficial. Outros autores, como RUSSEL (1939), também apontam como alternativa para reduzir as perdas por evaporação a manutenção do solo coberto por resíduos culturais.

A cobertura do solo tem marcante efeito na infiltração de água no solo, por reduzir a formação do selo superficial, ao impedir o impacto das gotas de chuva na superfície desnuda do solo, conforme determinado por DULEY (1939). Este autor verificou também que o selo superficial é rapidamente refeito quando destruído mecânicamente e o solo mantido descoberto. Neste sentido, LAL (1975) aponta como principal prática para evitar formação de crosta e reduzir as perdas de solo e água a manutenção do solo coberto por resíduos culturais. SILVA (1986), ao determinar a taxa de infiltração em um solo PVE sob sistemas de culturas, verificou efeitos positivos no sistema lab-lab/ milho em comparação ao sistema pousio/milho, pela maior cobertura

da superfície do solo proporcionada pelo sistema.

BOND & WILLIS, (1969) ao observarem o efeito de quantidades de palha nas perdas por evaporação, verificaram reduções proporcionais a dose de palha durante o primeiro período. Afirmam, entretanto, que as perdas acumulativas, após prolongado período de secamento, tendem a se igualarem, independente da dose de palha. GARDNER (1983) atribui à cobertura morta um efeito muito grande porém efêmero, enquanto que efeitos nas propriedades do solo conduzem a efeitos mais duradouros na redução das perdas de água por evaporação.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Localização e caracterização da área experimental

A área onde foi desenvolvida a parte de campo do estudo encontra-se na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul, entre os km 38,0 e 41,3 da rodovia BR 290, região fisiográfica da Depressão Central do Rio Grande do Sul. O clima da região é o sub-tropical com verão úmido quente, do tipo fundamental Cfa, conforme a classificação climática de Koeppen. Próximo ao local do experimento encontra-se uma estação meteorológica cujas coordenadas geográficas são 30°05'27" sul e 51°40'18" oeste e a uma altitude de 46 m, onde a precipitação média anual de 19 anos é de 1440 mm, a umidade relativa do ar média mensal variou entre 69,9 a 85,3 % e a temperatura média entre 13,9 e 24,9 °C (BERGAMASCHI & GUADAGNIN, 1990).

O solo do local é um Podzólico Vermelho-escuro, distrófico, textura franco-argilosa conforme CAMARGO et al. (1987). O relevo da região é ondulado a suave ondulado, sendo a declividade média local de 5%.

3.2 - Histórico da área experimental

Este trabalho é parte de um projeto iniciado em 1985 que tem por objetivo estudar sistemas de manejo do solo e culturas. Os detalhes de implantação e condução nos anos de 1985 a 1987 encontram-se descritos por FREITAS (1988), enquanto os dados referentes ao período do verão de 1987 ao inverno de 1988 são relatados por ROSSO(1989).

3.3 - Tratamentos e delineamento experimental

O projeto inclui três métodos de preparo do solo precedendo a implantação das culturas de verão, três sistemas de culturas e dois níveis de adubação nitrogenada em cobertura aplicados na cultura do milho. Utiliza-se delineamento experimental em blocos casualizados com três repetições, em parcelas subdivididas para os sistemas de preparo do solo e de culturas e sub-blocos em faixas para os níveis de adubação nitrogenada.

As parcelas principais, com os tratamentos de preparo do solo, tem dimensões de 15 x 20 m, as sub-parcelas para os tratamentos de sistemas de culturas 5 x 20 m e os sub-blocos para as doses de N 10 x 45 m.

Os preparos do solo constituem-se de preparo convencional, onde procede-se uma aração e posteriores gradagens, preparo reduzido, efetuado com escarificador e grade leve e semeadura direta, em que a cultura é

implantada sem preparo do solo com o resíduo das culturas anteriores sobre o solo. Para as culturas de inverno o solo não é preparado, sendo a semeadura feita a lanço sobre a resteva do milho em todos os tratamentos.

Os sistemas de culturas utilizados são: aveia preta/milho; aveia preta + trevo subterrâneo/milho e aveia preta + trevo subterrâneo/milho + caupi, e as doses de nitrogênio são de 0 e 120 kg/ha.

Para a execução deste experimento em particular utilizou-se o sistema aveia preta + trevo subterrâneo/milho com adubação nitrogenada e os três sistemas de preparo. Nas extremidades das sub-parcelas, demarcou-se uma área com dimensões de 2 x 5 m, onde não foi cultivado milho no verão de 1990, para as determinações de temperatura e retirada das amostras para determinações físicas. A Figura 1 mostra o esquema experimental de campo e o posicionamento dos tratamentos com os locais de amostragem.

3.4 - Procedimento experimental

Para a safra de verão 1990/91, que corresponde ao período experimental, antes das operações de preparo do solo, as culturas de inverno foram manejadas com as seguintes operações: nas parcelas com semeadura direta foi aplicado herbicida glyphosate (1440 g/ha de i.a.) afim de dessecar a aveia, que cinco dias após foi acamada com uma grade leve de discos completamente fechada; nas parcelas

com escarificação, estando a aveia em pé, procedeu-se uma escarificação com implemento composto de cinco hastes com ponteiros estreitos precedidas de discos de corte, espaçadas 45 cm, trabalhando a uma profundidade de 20 a 25 cm, a esta operação seguiu-se uma gradagem leve; o preparo convencional foi efetuado através de uma lavração com arado de discos seguida de duas gradagens com grade leve. Os preparos do solo foram efetuados em 14/08. Posteriormente efetuou-se a aplicação à lanço de 300 kg/ha de adubo da fórmula 2-25-25. A sementeira do milho foi realizada em 31/08 com sementeira/adubadora de duas linhas adaptada, com disco de corte, sulcador estreito e pesos adicionais, com 100 kg/ha de adubo da fórmula 2-20-10 e 8 a 10 sementes de milho por metro linear. Devido ao reduzido desenvolvimento das plantas, em decorrência das baixas temperaturas no início de setembro, efetuou-se nova sementeira em 28/09. A operação foi efetuada manualmente com saraquá e o "stand" de plantas ajustado para 50.000/ha por desbaste manual. Na primeira sementeira utilizou-se o híbrido Agroceres 64 A e na seguinte Pioneer 3230.

O tratamento de adubação nitrogenada em cobertura constou da aplicação de uréia nas entrelinhas do milho, nos dias 15/10 e 19/11, correspondendo a 40 e 80 kg/ha de nitrogênio respectivamente.

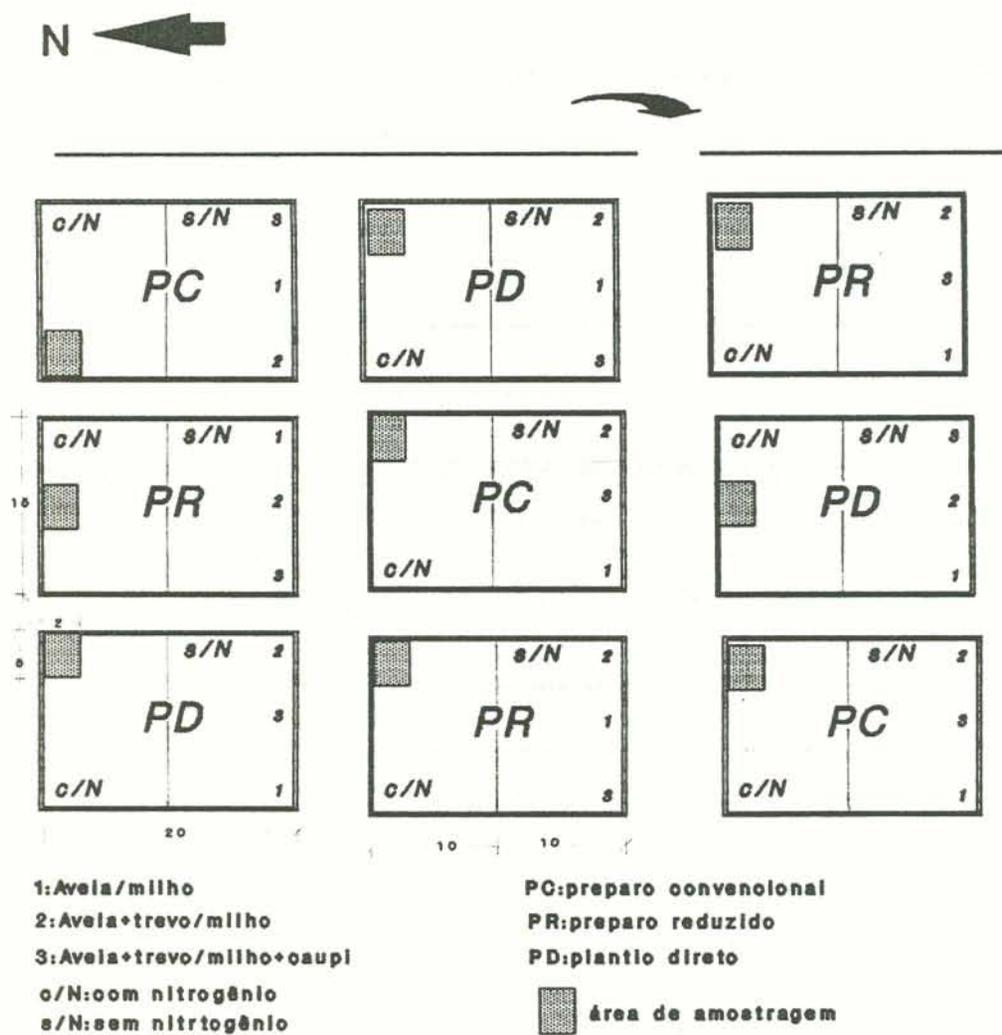


FIGURA 1 - Esquema da área experimental. EEA/UFRGS.

3.5 - Determinações

3.5.1 - Temperatura do solo

A temperatura do solo foi determinada através de leitura direta em geotermômetros de mercúrio com precisão de 0,2 graus e escala em graus centígrados.

Os geotermômetros, em número de nove, foram instalados em cada sub-sub-parcela, nos locais previamente destinados a amostragens, nos três tratamentos de sistemas de preparo do solo e nas três repetições, na profundidade de 5 cm, e de modo a receber insolação livre de obstáculos. Para a sustentação e proteção dos aparelhos foram utilizados suportes apropriados, descritos por BRAGANGNOLO (1986).

As leituras de temperatura foram efetuadas diariamente no período entre os meses de setembro a janeiro as 9 h e as 15 h, cujos valores são adotados como temperatura mínima e máximas, respectivamente. A diferença entre as leituras das 15 h e 9 h foi considerada neste estudo como sendo a amplitude de variação diária da temperatura do solo. Nos dias 28/9, 5/10, 21/11, 17/12, 9/1 e 11/1 as leituras foram efetuadas nos horários de 7, 9, 10, 11, 13, 15, 16 e 17 horas.

3.5.2 - Umidade do solo

Para determinação da umidade do solo, foram

efetuadas coletas nos locais destinados a amostragem, nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 30 e 30 a 40 cm. Nas duas profundidades superiores utilizou-se espátulas e nas demais trado de roçca, acondicionando-se as amostras em latas que foram vedadas com fita adesiva para transporte até o laboratório. A umidade gravimétrica do solo foi determinada conforme FORSYTHE (1975). Este valor foi multiplicado pela densidade do solo da respectiva profundidade transformando-o em umidade volumétrica. No caso da profundidade 0 a 5 cm a umidade volumétrica foi calculada utilizando-se a densidade ponderada das camadas de 0 a 2 e de 2 a 10 cm.

A coleta de amostras foi efetuada de modo a acompanhar os ciclos de secagem do solo, ou seja, sempre após a ocorrência de precipitações pluviais iniciava-se um ciclo, com amostragens nos dias seguintes até que houvesse nova precipitação, a qual interrompia o ciclo. Desta forma foram efetuadas 28 amostragens durante o período experimental.

3.5.3 - Curva característica de retenção de água no solo

Para construção de curvas características de retenção de água pelo solo foram retiradas amostras inalteradas de solo, dos tratamentos plantio direto e preparo convencional, com anéis metálicos, nas profundidades de 0 a 2, 2 a 10, 20 a 25 e 30 a 40 cm. Para cada sub-sub-parcela

foram retiradas duas sub-amostras, totalizando seis repetições por tratamento. Estas amostras após saturadas e pesadas foram levadas à mesa de tensão a sucção de $-0,006$ MPa, e após submetidas a pressões crescentes de $-0,01$; $-0,03$; $-0,1$; $-0,3$; $-0,5$ e $-1,5$ MPa em câmara de pressão com placas porosas (RICHARDS, 1965). A cada etapa, obteve-se por pesagem, a umidade volumétrica do solo retida a cada potencial. Ao final, as amostras foram secas em estufa e obtida a massa de solo seco. Para as amostras da camada superficial foi utilizado anel com altura de 1 cm e diâmetro de 5,5 cm, enquanto que para as demais profundidades de amostragem foram usados anéis com 3 cm de altura e 8,5 cm de diâmetro.

3.5.4 - Densidade e porosidade do solo

Para a determinação da densidade e da porosidade do solo foram utilizadas as mesmas amostras da curva característica de retenção de água, sendo a densidade do solo obtida pela divisão do valor da massa seca do solo pelo volume da amostra (anel).

Para o valor de porosidade total do solo foi adotado o valor obtido pela subtração entre a massa da amostra saturada com água e a massa da amostra seca em estufa, em relação ao volume da amostra.

3.5.5 - Capacidade calorífica do solo

Para a determinação da capacidade calorífica volumétrica do solo utilizou-se a equação proposta por DE VRIES (1975) citado em HILLEL, (1982), a qual é representada pelo somatório das frações do volume dos componentes do solo multiplicados por seu respectivo valor de calor específico. A equação para o cálculo é a seguinte:

$$C = 1,92 X_m + 2,51 X_o + 4,18 X_w$$

onde X_m , X_o e X_w são respectivamente as frações de volume do solo ocupadas por minerais, matéria orgânica e água. Por ser muito reduzido o valor do calor específico do ar, sua fração de volume ocupada foi desprezada. O valor de C é expresso em $\text{MJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{K}$.

Como o valor da água volumétrica é variável, calculou-se o valor de capacidade calorífica do solo ao longo das amostragens de umidade e obteve-se um valor médio. Este procedimento foi repetido para volumes de solo com profundidade de 0 a 2 e 0 a 5 cm, onde também variaram as frações minerais e orgânicas.

3.5.6 - Cobertura do solo

Para determinação e acompanhamento do percentual de cobertura do solo, utilizou-se o método de diapositivos fotográficos, detalhado em LOPES (1984). Foram feitas

avaliações no início do período experimental (5 de outubro) e no final do ciclo da cultura do milho (15 de fevereiro).

Para cada repetição estabeleceu-se uma equação que permitiu por interpolação estimar o nível de cobertura do solo existente em qualquer momento dentro do tempo de análise. Para tanto admitiu-se que a decomposição dos restos culturais obedeceu comportamento linear.

3.5.7 - Dados meteorológicos

Para obtenção dos valores das precipitações pluviiais que efetivamente ocorreram na área do experimento foi instalado um pluviógrafo na parte central, permitindo uma determinação mais precisa do total precipitado e da intensidade de cada precipitação.

Informações referentes aos elementos meteorológicos como temperatura do ar, radiação global, umidade relativa do ar, evaporação foram obtidas junto a estação meteorológica da EEA/UFRGS, que dista cerca de 1 km do local do experimento.

3.5.8 - Tratamento estatístico

A análise estatística do efeito dos sistemas de preparo sobre as temperaturas máximas, mínimas e amplitude diária, foi efetuada conforme procedimento de análise para blocos completamente casualizados, com três repetições. As

médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey, para nível de significância de 5 %. Este procedimento também foi utilizado para analisar-se os resultados de umidade gravimétrica do solo e as demais propriedades físicas do mesmo.

Para análise de regressão múltipla dos dados de temperatura do solo utilizou-se programa de computação "Statgraphics", método aditivo (Stepwise) para inclusão das variáveis. Nesta análise utilizou-se em conjunto os dados referentes aos preparos de solo, repetições e dias de amostragem, totalizando 234 observações, para cada variável.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão abordadas as condições meteorológicas ocorridas durante o período experimental e as propriedades do solo relacionadas com a temperatura e a umidade do solo afetados pelos sistemas de preparo.

4.1 - Elementos meteorológicos

Das informações sobre as condições meteorológicas da área experimental, obtidas no local e na estação climatológica da EEA/UFRGS analisou-se as que desempenham papel importante na determinação da umidade e temperatura do solo. Como a umidade do solo é função principalmente da quantidade e distribuição das chuvas, na Figura 2, consta a distribuição decendial dos índices pluviométricos durante o período de cultivo da cultura do milho, onde pode verificar-se um comportamento caracterizado por dois períodos distintos. O primeiro, determinado pela elevada quantidade de precipitação, indo este período de agosto até o primeiro decêndio de novembro, quando tem início o segundo período, onde a quantidade de chuvas é reduzida. Ao comparar-se estes dados com a época de plantio e o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho, pode-se definir a primeira fase

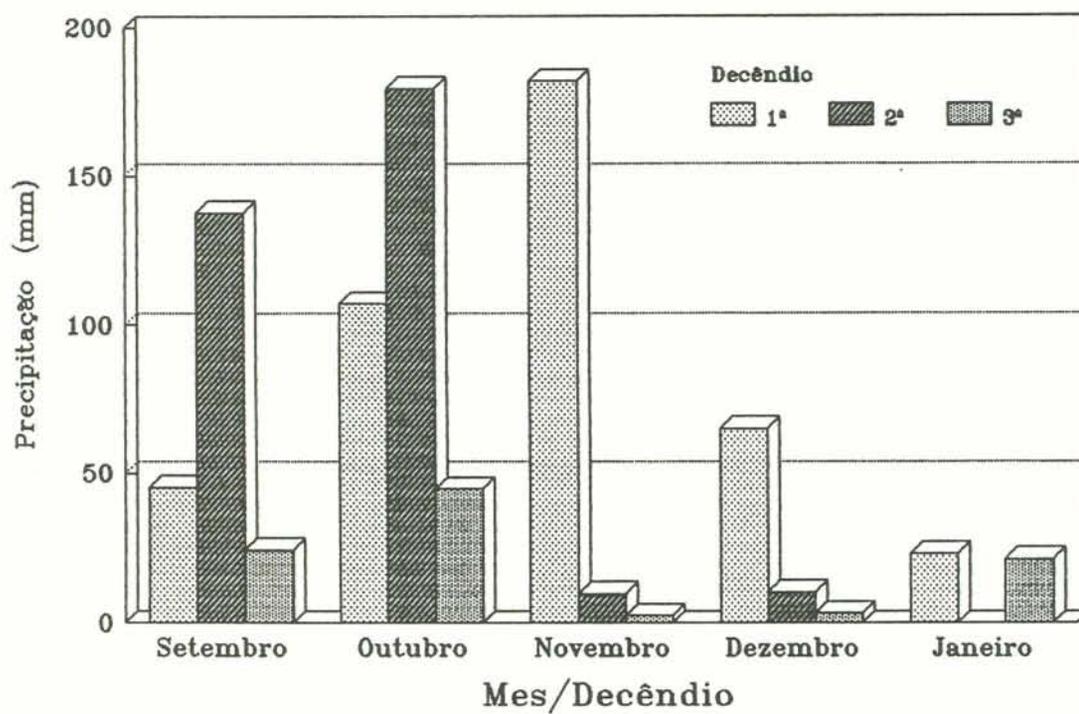


FIGURA 2 - Distribuição decenal das chuvas no período de setembro de 90 a janeiro de 91, na Estação Experimental Agronômica da UFRGS.

como predominantemente de recebimento e abastecimento e a segunda fase como o principal período de armazenamento e consumo, pois este período coincide com a floração e enchimento de grãos. Os dados médios da EEA/UFRGS indicam boa distribuição das chuvas durante o ano, com precipitações mensais variando de 95,7 mm em dezembro a 168,2 mm em junho, respectivamente os meses de menor e maior índice pluviométrico (BERGAMASCHI & GUADAGNIN, 1990). No entanto o período sob análise, diferiu do comportamento médio de 19 anos, pelas elevadas precipitações ocorridas em setembro, outubro e novembro e baixas em janeiro.

Quanto aos componentes da temperatura, considerou-se as informações relativas às temperaturas média, máxima e mínima do ar, além da radiação solar global, cujos valores estão relacionados no Apêndice 1. A temperatura média do ar é obtida pela média aritmética das leituras 9h, mais duas vezes a de 21 h e as temperaturas máxima e mínima. Verificou-se pelo comportamento dessas variáveis que os valores tendem a elevar-se com a evolução do tempo, atingindo o ponto máximo em janeiro, comportamento normal para o local e época do ano.

4.2- Cobertura do solo

A qualidade do material vegetal que cobre a superfície do solo é resultante do sistema de cultura empregado no local, sendo sua composição o fator

determinante, entre outros, da taxa de decomposição, definindo assim a persistência e o percentual de cobertura do solo. A quantidade de material e indiretamente a porcentagem de cobertura do solo também pode resultar dos sistemas de culturas antecedentes, mas são principalmente definidas pelo sistema de preparo do solo utilizado. MAZUCHOWSKI & DERPSCH (1984) analisaram sob vários aspectos diversos sistemas de preparo do solo, e quanto a porcentagem de resíduos que permanece sobre a superfície do terreno, classificaram a escarificação como um sistema intermediário entre o plantio direto e o preparo convencional. Obviamente a porcentagem de cobertura do solo resultante do preparo convencional e do preparo reduzido é função da intensidade e frequência de utilização dos implementos. No caso deste experimento, o preparo convencional com incorporação dos restos culturais de aveia preta + trevo, na fase de floração com produção média de 6,9 t/ha de massa seca, deixou a cobertura do solo em torno de 14%, que ao final do ciclo do milho estava em torno de 5%. No sistema de plantio direto a cobertura variou entre 98% e 80% e no preparo reduzido entre 85% e 77%, durante o período, não diferindo entre si os dois últimos sistemas (Tabela 1).

Cabe salientar que o preparo reduzido constituiu-se de apenas uma operação de escarificação seguida de uma gradagem leve que praticamente não afetou a cobertura do solo, razão pela qual apresentou um comportamento semelhante ao plantio direto.

TABELA 1 - Variação da cobertura do solo (%) por resíduos culturais de aveia+trevo, no início e final do ciclo do milho em plantio direto (PD), preparo reduzido (PR) e preparo convencional (PC). (média de 2 repetições).

Época	Preparo		
	PC	PR	PD
5 de outubro	14,4b	85,3a	97,7a
15 de fevereiro	4,7b	77,3a	81,3a

Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5%.

A utilização contínua dos sistemas de manejo adotados no experimento durante o período de seis anos, mantendo diferentes quantidades de material incorporado e sobre o solo, resultou em diferenças na quantidade e distribuição da matéria orgânica no perfil do solo. Resultados obtidos por MELLO (1991) demonstram que o plantio direto apresentou uma maior concentração de matéria orgânica na camada de 0 a 2,5 cm (Figura 3). Este sistema também manteve-se com maior teor de matéria orgânica nas profundidades de 2,5 a 5 cm e de 7,5 a 12,5 cm. O preparo reduzido apresentou comportamento semelhante ao plantio direto nas duas primeiras profundidades e idêntico ao preparo convencional nas duas últimas; o preparo convencional não mostrou alterações dentro do perfil. Estes dados estão sendo aqui apresentados, porque serão utilizados nos capítulos seguintes para o cálculo da capacidade calorífica do solo.

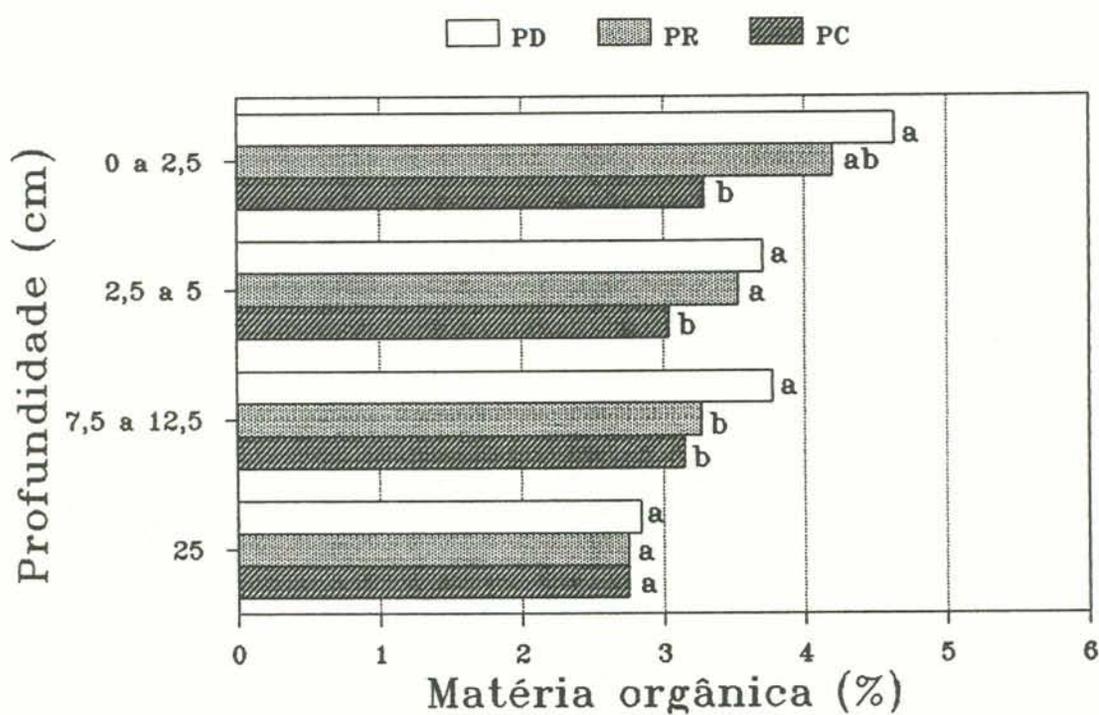


FIGURA 3 - Teor de matéria orgânica no solo (%) em plantio direto (PD), preparo reduzido (PR) e preparo convencional (PC) em 4 profundidades. (Adaptado de Mello, 1991). Letras diferentes indicam diferenças significativas ao nível de 5% pelo teste Tukey.

4.3- Temperatura do solo

O aquecimento e resfriamento do solo são fenômenos que ocorrem em sua superfície e são controlados, em termos gerais, por condições meteorológicas como temperatura do ar e radiação solar, condições de superfície e propriedades térmicas do solo. Sistemas de manejo podem alterar os processos de aquecimento e resfriamento do solo, por agirem na cobertura, teor de matéria orgânica, densidade e umidade do solo. SIDIRAS & PAVAN (1986) observaram para condições do estado do Paraná, os efeitos de sistemas de preparo e cobertura permanente do solo sobre sua temperatura. O solo sob preparo convencional sempre apresentou temperaturas superiores ao solo sob plantio direto e com cobertura permanente.

No presente trabalho, as Figuras 4 e 5 apresentam o comportamento das temperaturas mínimas e máximas do ar e a temperatura do solo as 9 e 15 h, nos três sistemas de preparo, a 1,5 m de altura e a 5 cm de profundidade, respectivamente. A variação diária da temperatura entre as 9 e 15 h nos diferentes preparos do solo, em função do tempo, durante o período de cultivo do milho (setembro a janeiro) consta na Figura 6, tal variação é adotada como amplitude diária. As temperaturas mínimas do solo e do ar (Figura 4) tendem a elevar-se com o transcorrer do tempo, desenvolvendo o comportamento cíclico anual normal, em que os maiores valores ocorrem no verão e os menores no inverno.

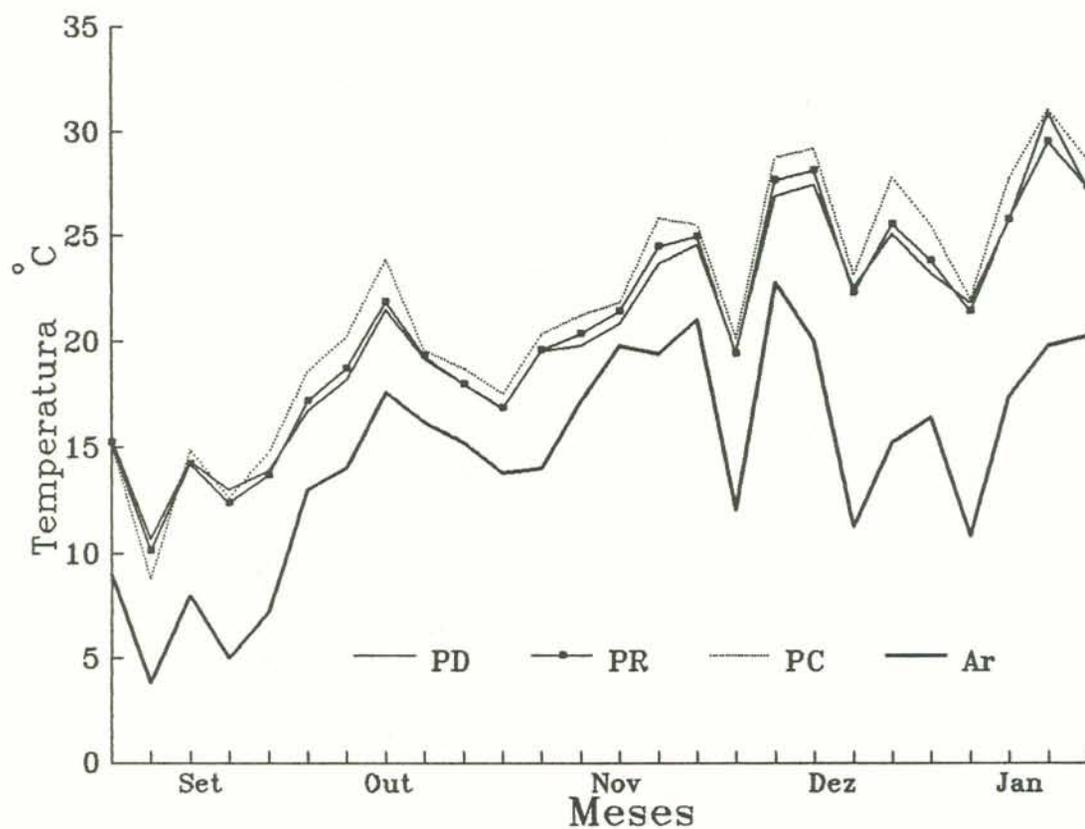


FIGURA 4 - Evolução da temperatura mínima do ar e temperatura do solo as 9 h em plantio direto (PD), preparo convencional (PC) e preparo reduzido (PR), a profundidade de 5 cm. no período de setembro/90 a janeiro/91.

Entre os sistemas de preparo observa-se bastante semelhança entre o plantio direto e o preparo reduzido. O preparo convencional apresentou as menores temperaturas no início do período (final do inverno), a partir do qual passa a apresentar valores superiores, e significativos em alguns dias (Apêndice 1), em média 1 a 2 °C acima dos valores do preparo reduzido e plantio direto respectivamente. As baixas temperaturas ocorridas no início do período experimental, resultaram em problemas de desenvolvimento lento das plantas de milho, o que levou a efetuar-se o replantio do experimento. Segundo MIEDEMA (1982), entre outros, muitos genótipos de milho não germinam ou germinam e se desenvolvem muito lentamente sob temperaturas do solo abaixo de 6 a 8 °C, sendo que a taxa de germinação aumenta linearmente até temperaturas na faixa de 30 a 32 °C. Este autor ainda relata como efeito de temperatura do solo subótima (abaixo de 6 a 10 °C) reduções no crescimento de raízes, crescimento foliar e produção de matéria seca por plântulas de milho. Ressalta ainda que a intensidade destes efeitos é fortemente afetada pela duração da exposição a tais temperaturas. O solo comportou-se quanto a temperatura máxima, (Figura 5) diferenciadamente entre os sistemas de preparo, com o plantio direto apresentando valores em geral significativamente inferiores aos demais (Apêndice 1), inclusive inferior a temperatura máxima do ar, isto durante a primeira fase do período experimental, em que houve abundância de chuvas.

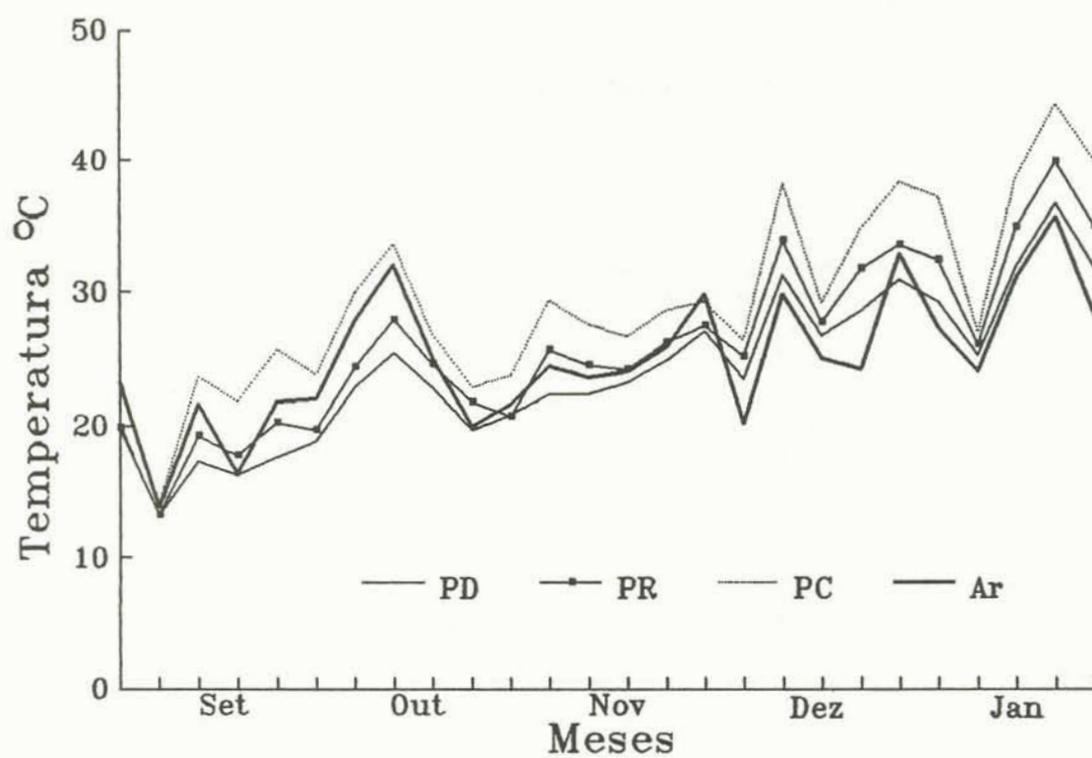


FIGURA 5 - Evolução da temperatura máxima do ar e temperatura do solo as 15 h em plantio direto (PD), preparo convencional (PC) e preparo reduzido (PR), a 5 cm de profundidade, no período de setembro/90 a janeiro/91.

Na fase seguinte, com a diminuição das precipitações e, conseqüentemente com o solo mais seco, as temperaturas aumentaram, suplantando a temperatura do ar. Este comportamento demonstra claramente a influência da água do solo na redução de sua temperatura máxima, principalmente por alterar a capacidade calorífica do solo e, com isto exigir maior quantidade de calor para aquecer-se. No preparo convencional a temperatura máxima atingida foi de 44,2 °C, enquanto que no plantio direto 36,6 °C, ambas no dia 9/01.

Do confronto dos valores de temperatura máxima (15 h) e mínima (9 h) obteve-se a amplitude de variação diária da temperatura do solo ao longo do período experimental (Figura 6). As diferenças encontradas entre os sistemas foram significativas em praticamente todos os dias avaliados, definindo claramente os efeitos dos diferentes preparos do solo (Apêndice 1).

A amplitude de variação diária da temperatura do solo, no preparo convencional foi a mais elevada, mantendo tal comportamento ao longo do tempo de análise. No preparo reduzido e plantio direto, os valores foram menores, situando-se a média do período no plantio direto na faixa de 1,6 a 5,5°C. As temperaturas máximas mais baixas durante o verão e a menor amplitude de variação, mantiveram um ambiente mais equilibrado neste tratamento e possivelmente mais favorável aos processos biológicos.

O comportamento da temperatura durante o dia nos

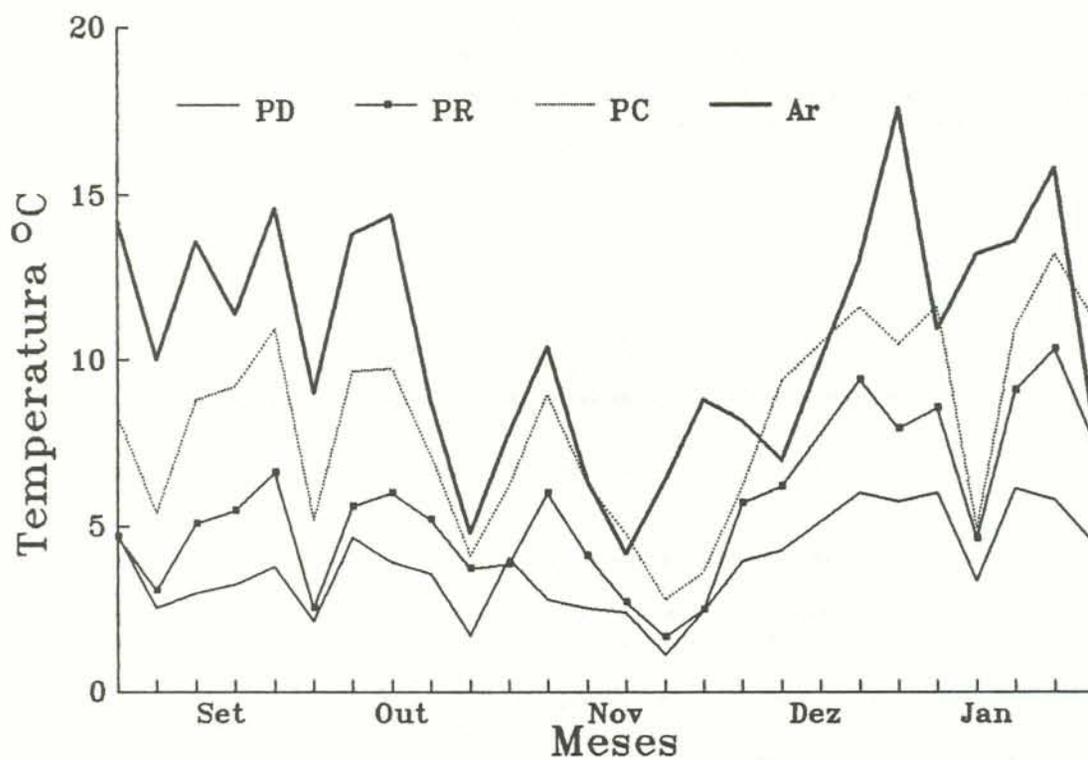


FIGURA 6 - Evolução da amplitude diária da temperatura do ar e a variação da temperatura do solo entre as 9 e 15 h em plantio direto (PD), preparo convencional (PC) e preparo reduzido (PR), a 5 cm de profundidade, no período de setembro/90 a janeiro/91.

diferentes sistemas pode ser observado na Figura 7, onde em quatro datas verificou-se a evolução da temperatura ao longo do dia, das 7 às 17 h. Observa-se que, com o decorrer do tempo e elevação da temperatura do ar, a temperatura do solo elevou-se em todos os sistemas, mantendo a seguinte ordem: plantio direto < preparo reduzido < preparo convencional. Nas curvas dos dias 9 e 11/01 verifica-se a influência da umidade do solo, pois entre estas duas amostragens (10/01), houve uma precipitação de 23,3 mm. O preparo convencional atingiu o ponto máximo, em torno de 45°C dia 9/01 às 16 h e no dia 11/01, após a chuva, apenas 40°C às 15 h. No plantio direto os valores máximos nos dias 9 e 11/01 foram 35 e 30°C respectivamente, o preparo reduzido apresentou valores intermediários, entre 35 e 40°C. No dia 9/01 as temperatura foram mais altas apesar da radiação global ter sido menor que no dia 11/01, 520 e 584 cal/cm²/dia respectivamente.

O comportamento térmico diferenciado do solo entre os sistemas de preparo, deve-se a alterações nas suas propriedades térmicas e porcentagem de cobertura da superfície. GUPTA et al. (1983), ao analisar diferentes sistemas de preparo do solo, com e sem cobertura por resíduos, encontraram diferenças de 12 e 19 °C, respectivamente para presença ou ausência de cobertura do solo, sob o mesmo sistema de preparo. BRAGAGNOLD & MIELNICZUK, (1990) em condições semelhantes ao solo deste experimento, após aração e aplicação de 7,5 t/ha de palha de trigo (88% de

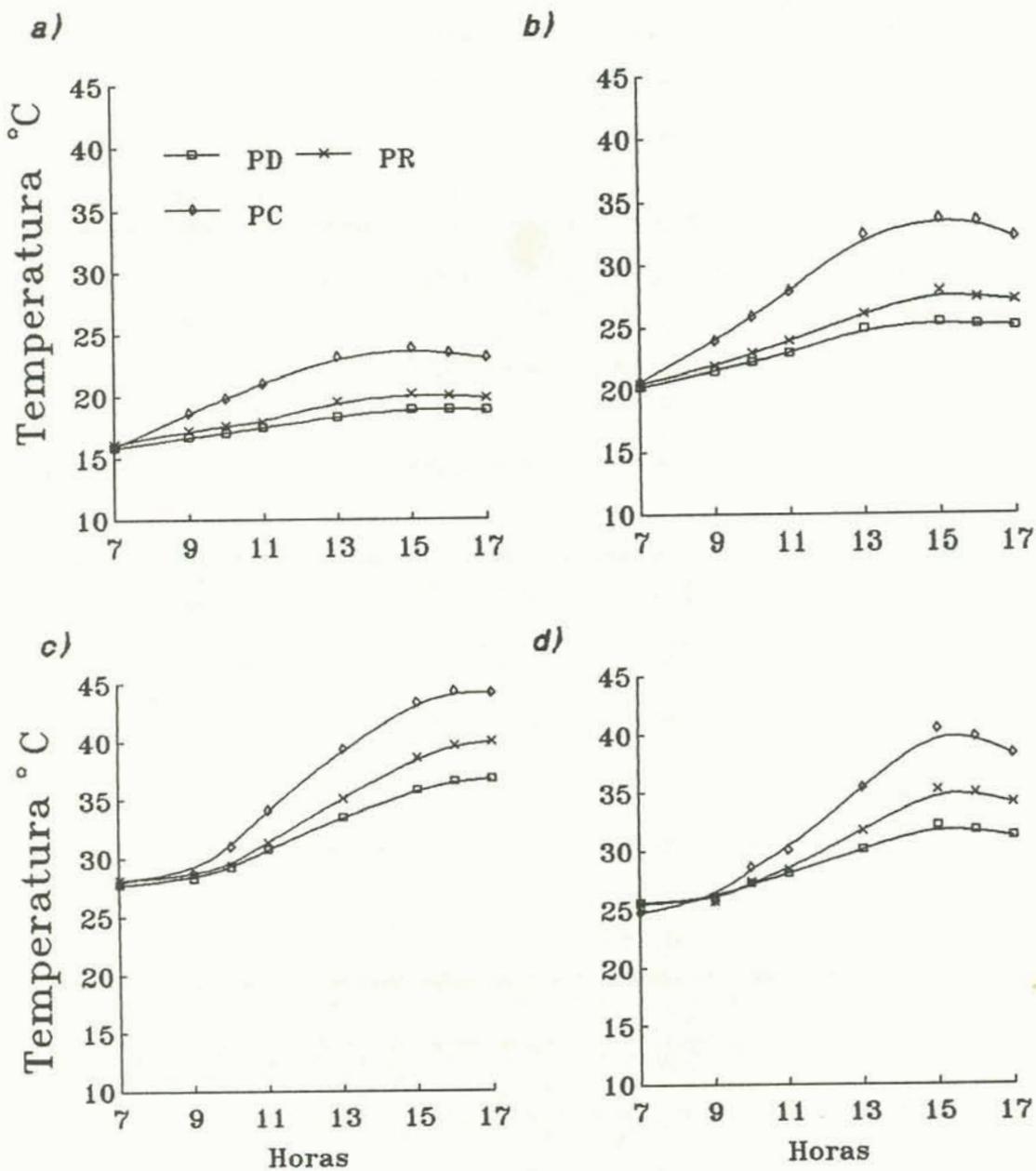


FIGURA 7 - Evolução da temperatura do solo a 5 cm. de profundidade, sob plantio direto (PD), preparo reduzido (PR) e preparo convencional (PC), nos dias 28/09 (a), 5/10 (b), 9/01 (c) e 11/01 (d).

cobertura), observaram redução da temperatura do solo de até 10°C em relação ao solo descoberto.

Das propriedades térmicas do solo, a capacidade calorífica volumétrica (Figura 8) é a mais adequada para identificar e quantificar os efeitos de sistemas de preparo sobre a temperatura do solo, pois utiliza dados referentes ao calor específico dos componentes do solo, teor de matéria orgânica, densidade do solo e umidade volumétrica.

Os diferentes sistemas de preparo resultaram em diferenciados valores para as propriedades do solo e, com isto definiram diferentes valores para capacidade calorífica. A Figura 8 apresenta estes valores para as profundidades de 0 a 2 cm e 0 a 5 cm. Os dados mostram que no plantio direto, na camada 0 a 5 cm por exemplo, para alterar a temperatura em 1°K são necessários 2,50 MJ/m³ de solo, enquanto que para o preparo convencional 1,89 MJ/m³. Portanto, o solo submetido ao preparo convencional necessita de menor quantidade de calor para alterar a temperatura, aquecendo-se e resfriando-se mais rapidamente que os demais sistemas. A alteração da temperatura do solo, além do suprimento de quantidade de energia adequada, é função das condições de propagação de calor. Neste sentido, POTTER et al. (1985) ao estudarem efeitos de sistemas de preparo nas propriedades térmicas do solo, verificaram que apesar de diferenças não significativas na capacidade calorífica, as práticas com revolvimento do solo, por alterar a distribuição do tamanho dos poros e o arranjo da matriz do

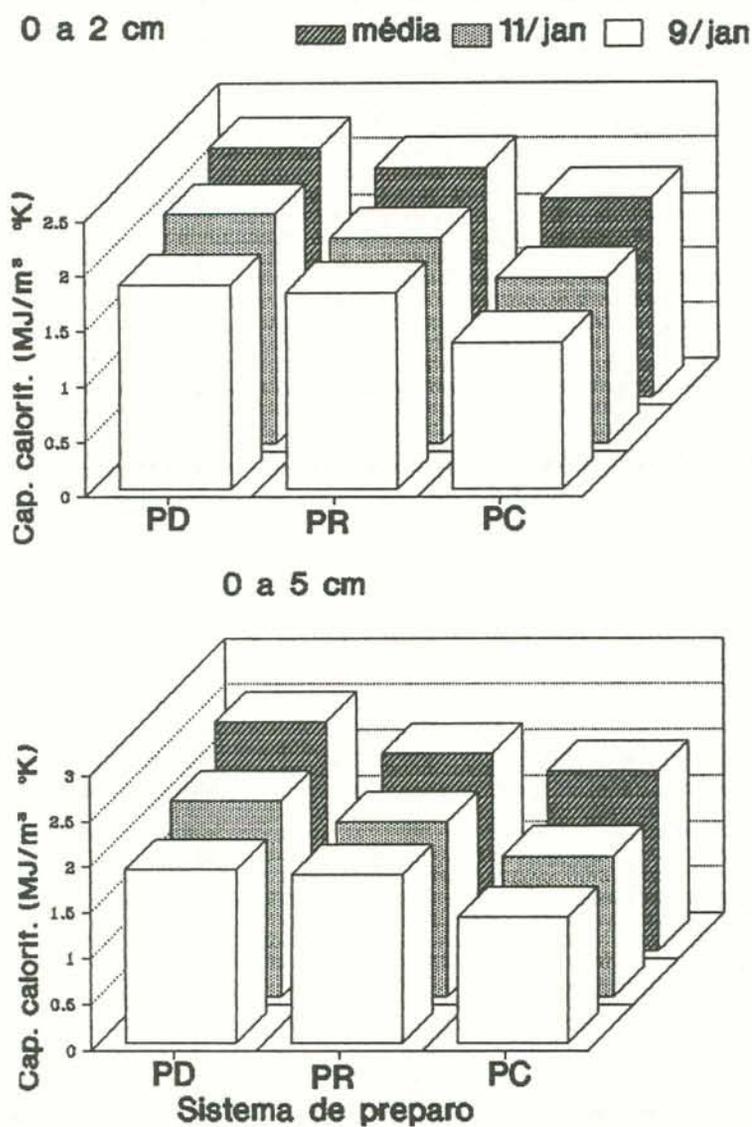


FIGURA 8 - Capacidade calorífica volumétrica de um solo PVE sob plantio direto (PD), preparo reduzido (PR) e preparo convencional (PC), nos dias 9 e 11/01 e a média do período experimental (set/90 a jan/91) em duas profundidades.

solo, reduziram a difusividade térmica do solo.

Para quantificar a participação dos componentes climáticos, da porcentagem de cobertura e das propriedades do solo na temperatura do solo, utilizou-se regressões múltiplas para construir modelos matemáticos, e com estes prever valores de temperatura máxima, mínima e a amplitude de variação. As variáveis utilizadas foram as seguintes: radiação global, temperatura do ar (média, máxima e mínima), amplitude diária da temperatura do ar, matéria orgânica do solo (0 a 2,5 cm) (MELLO,1991), densidade do solo (0 a 2 cm e 0 a 10 cm), porosidade total do solo, porcentagem de espaço aéreo, porcentagem de cobertura do solo, capacidade calorífica do solo (0 a 2 cm e 0 a 5 cm), umidade gravimétrica do solo (0 a 5 cm) e umidade volumétrica do solo (0 a 5 cm). Os modelos resultantes constam na Tabela 2, e quando utilizados resultaram na distribuição dos valores observados e preditos da temperatura do solo, representados nas Figuras 9, 10 e 11 respectivamente, para temperatura mínima, temperatura máxima e amplitude térmica diária.

Verifica-se que, para a temperatura mínima do solo (Figura 9), as variáveis que mais influenciaram, segundo o modelo, foram a temperatura média do ar, radiação global, umidade volumétrica do solo e porcentagem de cobertura do solo, esta significativa apenas ao nível de 8% (Apêndice 6).

TABELA 2 - Modelos matemáticos desenvolvidos para predição da temperatura mínima (t min), temperatura máxima (tmax) e variação da amplitude diária (amplit) da temperatura do solo.

Variável	Modelo	r ²
t min	$1,8955+0,9693tar+0,0057RS-0,0603UV-0,0081CS$	0,84
t max	$6,6927+0,9682tmx+0,0039RS-0,0445CS-0,1319UV$	0,81
amplit	$3,8296-0,0387CS-0,9670CC-0,0425tmi+0,4990tmx$	0,61

tar= temperatura média do ar (°C)

tmx= temperatura máxima do ar (°C)

tmi= temperatura mínima do ar (°C)

RS= Radiação solar global (cal/cm²/dia)

UV= Umidade volumétrica do solo na camada 0 a 5 cm (%)

CS= Cobertura do solo (%)

CC= Capacidade calorífica do solo da camada 0 a 5 cm (MJ/M³ °K)

Como pode ser visto no modelo, a umidade e a porcentagem de cobertura contribuíram para reduzir as temperaturas mínimas, enquanto a radiação global e a temperatura média para aumentá-las. Considerando-se valores extremos de 5 a 35% para a umidade volumétrica e de 10 a 100% para a cobertura do solo, a redução isolada na temperatura devido a esta variação, segundo o modelo, teria a amplitude de 0,3 a 2,1°C e de 0,1 a 0,8°C respectivamente.

Para controlar a temperatura máxima do solo (Figura 10) o sistema de preparo do solo tem maior efeito, pois para a mesma amplitude de variação da umidade e porcentagem de cobertura da situação anterior, a amplitude de variação da temperatura seria de 0,7 a 4,6°C e de 0,4 a 4,5°C, respectivamente.

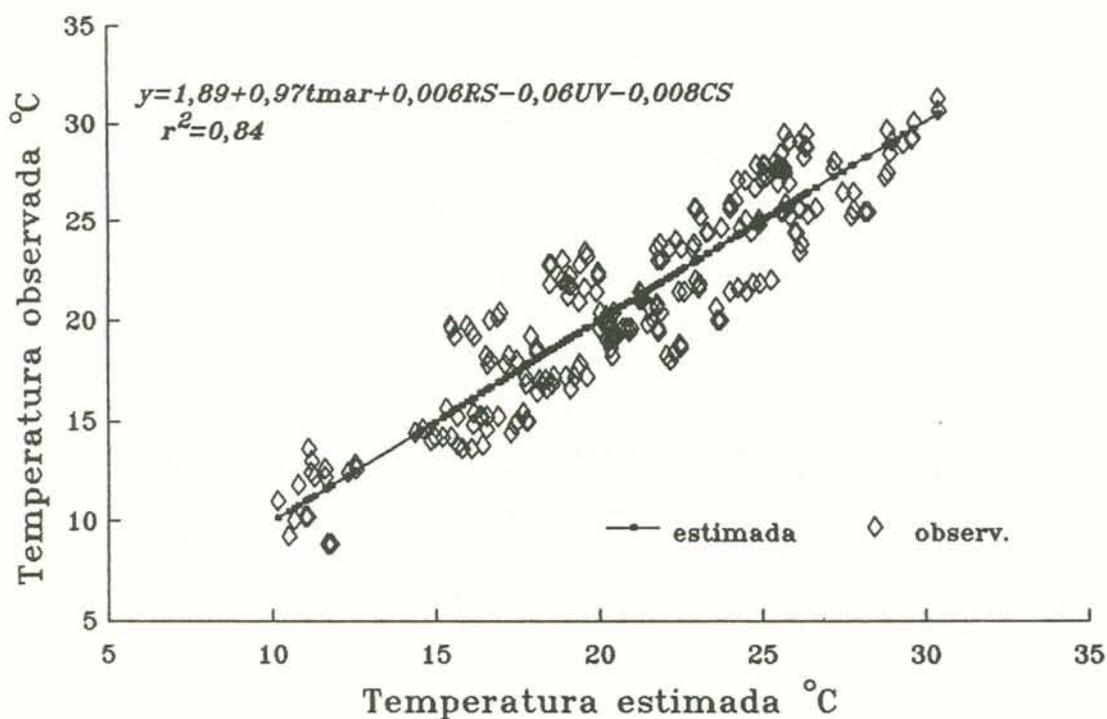


FIGURA 9 - Relação entre os valores de temperatura mínima do solo a 5 cm de profundidade, observados e preditos por modelos matemático com as variáveis: temperatura média do ar em °C (t_{mar}), radiação global em cal/cm^2 dia (RS), porcentagem de umidade volumétrica do solo na camada 0 a 5 cm (UV) e porcentagem de cobertura do solo (CS).

Neste caso, ao somar-se os valores extremos, resultaria na redução de $9,1^{\circ}\text{C}$ na temperatura máxima do solo. No plantio direto, onde a cobertura do solo ficou em torno de 100% e a umidade volumétrica com frequência atingiu 35%, verificou-se esta magnitude de variação, conforme será discutido a seguir. BRAGAGNOLO & MIELNICZUK (1990) e BRAGAGNOLO & MIELNICZUK (1990a), observaram reduções em torno de 10°C na temperatura do solo as 15 h em solo úmido e com aproximadamente 100% de cobertura por resíduos culturais.

Conforme o modelo matemático resultante, a amplitude de variação da temperatura do solo durante o dia (Figura 11) é, basicamente, função da porcentagem de cobertura e capacidade calorífica do solo e temperatura máxima e mínima do ar. As duas primeiras variáveis estão relacionadas aos sistemas de preparo do solo e as últimas sintetizam as condições ambientais. Neste modelo, com os valores das variáveis independentes observados durante o período experimental, a influência da cobertura do solo, em condições extremas de 98% no plantio direto e de 5% no preparo convencional, gira em torno de $3,5^{\circ}\text{C}$. Quanto à capacidade calorífica, com os valores entre $2,5 \text{ MJ/m}^3 \text{ }^{\circ}\text{K}$ no plantio direto e $1,4 \text{ MJ/m}^3 \text{ }^{\circ}\text{K}$ no preparo convencional, o resulta em um efeito de aproximadamente 1°C . A cobertura e a capacidade calorífica do solo além da temperatura mínima do ar compõem o modelo com coeficientes negativos, ou seja, atuam no sentido de reduzir a amplitude diária da temperatura do solo.

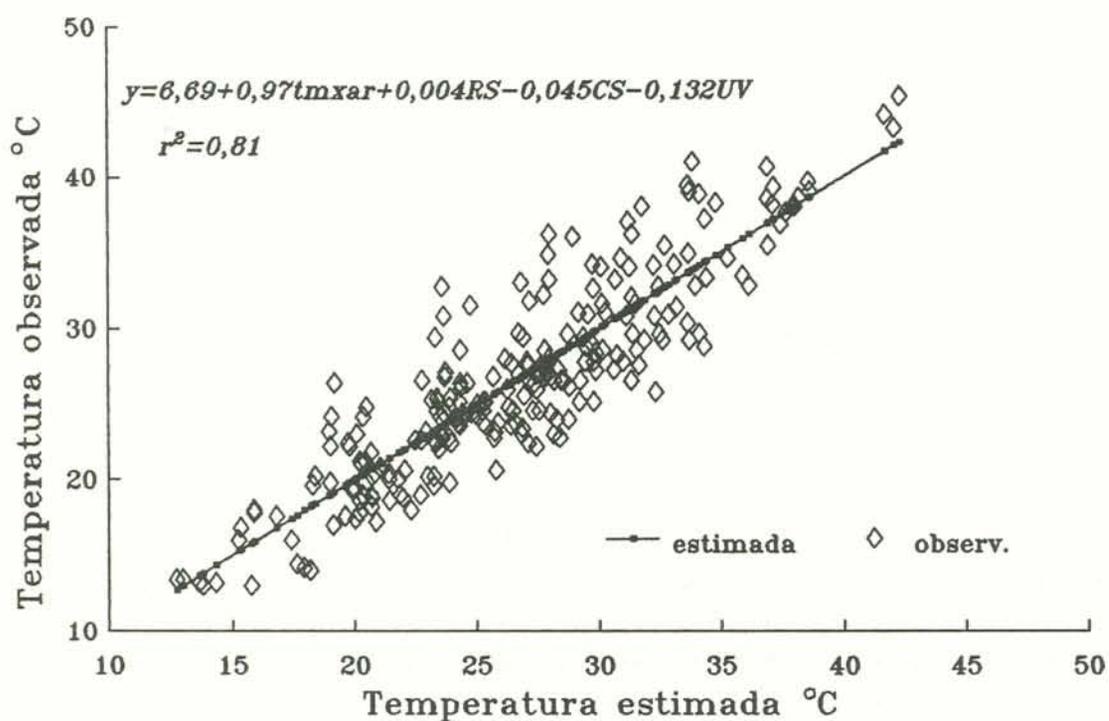


FIGURA 10 - Relação entre os valores de temperatura máxima do solo a 5 cm de profundidade, observados as 15 h e preditos por modelo matemático com as variáveis: temperatura máxima do ar em °C (tmxr), radiação global em cal/cm² dia (RS), porcentagem de umidade volumétrica do solo na camada 0 a 5 cm (UV) e porcentagem de cobertura do solo (CS).

A temperatura do ar expressa os efeitos das condições meteorológicas, como a condição térmica do dia anterior, que pode influenciar na temperatura mínima, enquanto a temperatura máxima do ar indica as condições para elevação da temperatura máxima do solo. GHUMAN & LAL (1983), em condições tropicais, verificaram o efeito da cobertura viva da cultura do milho em reduzir as temperaturas máximas, que em solo descoberto chega a 60 °C. Análises de regressão indicaram que o fator primário a afetar a temperatura do solo foi a cobertura proporcionada pelo dossel de plantas e, em segundo plano, a umidade do solo e radiação solar. Os autores concluem que para tais regiões é fundamental a implementação de sistemas de culturas que proporcionem eficiente cobertura do solo. Neste sentido, BRAGAGNOLO & MIELNICZUK (1990) verificaram efeitos significativos da cobertura viva com siratro em reduzir a amplitude térmica do solo, devido a cobertura do solo proporcionada e ao maior teor de umidade do solo.

4.4 - Densidade do solo

De maneira geral é aceito que diferentes sistemas de preparo alteram a densidade do solo. Para situações variadas de solo e clima, o plantio direto tem apresentado, pelo não revolvimento do solo um aumento na densidade da camada superficial, enquanto que no sistema convencional, com o revolvimento, o aumento na densidade ocorre nas

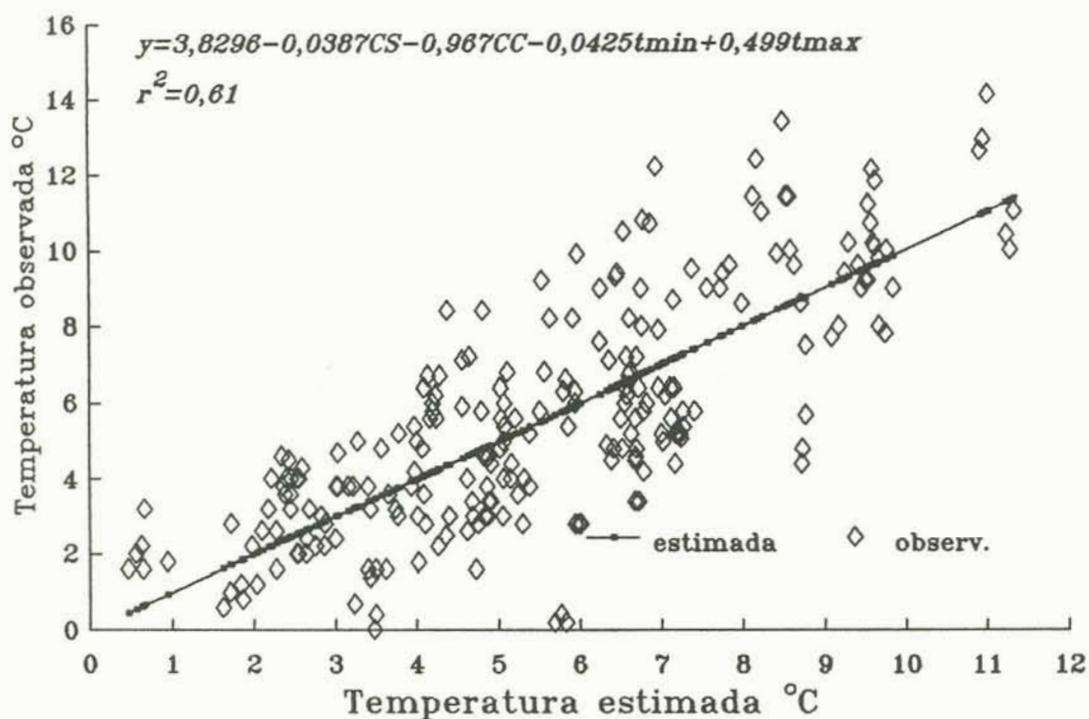


FIGURA 11 - Relação entre os valores de amplitude diária da temperatura do solo a 5 cm de profundidade entre as 9 e 15 h, observados e preditos por modelo matemático com as variáveis: porcentagem de cobertura do solo (CS), capacidade calorífica do solo da camada 0 a 5 cm em MJ/m³ °K (CC), temperatura máxima do ar (tmax) em °C e temperatura mínima do ar (tmin) em °C.

camadas sub-superficiais (VIEIRA & MUZILLI, 1984 ; KEMPER & DERPSCH, 1981 ; UNGER & CASSEL, 1991).

O solo deste experimento, após 6 anos de implantação e uso dos tratamentos, apresentou pequenas alterações quanto a densidade do solo entre os sistemas de preparo, mas seguindo as tendências gerais citadas anteriormente. Na Figura 12 observa-se as médias de densidade do solo obtidas nos diferentes sistemas de preparo e profundidades. Na camada superficial (0 a 2 cm) não se observa diferença nos valores entre o plantio direto e preparo convencional, respectivamente 1,41 e 1,40 g/cm³. Este comportamento pode ser atribuído ao manejo das culturas de inverno, onde foi utilizado uma gradagem leve. A ausência de uma maior densidade do solo na camada superficial no plantio direto pode também, ser devido ao maior teor de matéria orgânica desta camada (4,6 % no plantio direto e 3,2 % no preparo convencional). Na profundidade seguinte (2 a 10 cm), o plantio direto apresentou valor de densidade do solo significativamente superior ao preparo convencional. Nas demais camadas estudadas, 20 a 25 cm e 30 a 40 cm, não houve efeito dos tratamentos de preparo do solo.

4.5 - Capacidade de retenção de água pelo solo

Para permitir uma análise consistente do estado energético da água no solo nos sistemas de preparo do solo, foram determinadas curvas características de retenção de

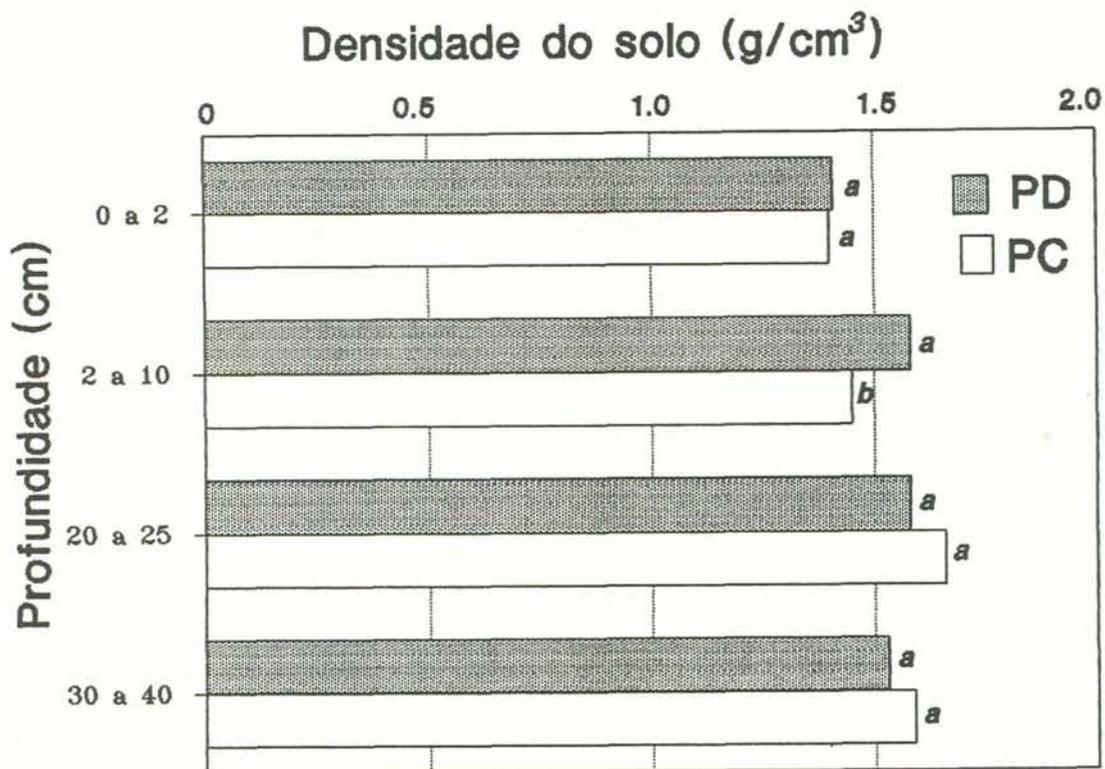


FIGURA 12 - Densidade do solo (g/cm^3) sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC) em quatro profundidades. Letras diferentes indicam diferença significativa entre médias, na mesma profundidade, pelo teste Tukey ao nível de 5 %.

água nas profundidades de 0 a 2 cm, 2 a 10 cm, 20 a 25 cm e 30 a 40 cm. A curva característica correspondente a profundidade 0 a 2 cm encontra-se na Figura 13 e das profundidades 2 a 10 cm, 20 a 25 cm e 30 a 40 cm respectivamente nos Apêndices 8, 9 e 10.

De modo geral não foram encontradas diferenças entre os tratamentos de preparo do solo quanto a retenção de água pelo mesmo. Apenas na camada de 0 a 2 cm as diferenças foram significativas, com o plantio direto apresentando um maior volume de água retida comparativamente ao preparo convencional. Este comportamento não encontra suporte nas alterações de densidade e porosidade pelos preparos, uma vez que não houve efeito dos tratamentos sobre estas características. Pode, no entanto, ter havido diferenças na distribuição e arranjo dos poros do solo devido as alterações do teor de matéria orgânica do solo (Figura 3). UNGER & STEWART (1983), ao analisarem efeitos da adição de matéria orgânica ao solo, indicam que pode ocorrer aumentos na retenção de água em solos de textura mais grosseira, enquanto solos com textura mais fina os ganhos estão relacionados a modificações na estrutura do solo.

Com as curvas características elaborou-se gráficos de retenção de água no perfil do solo nos potenciais de 0; -0,006; -0,03 e -1,5 MPa, as quais representam o solo saturado e os limites teóricos para macroporosidade, capacidade de campo e ponto de murcha permanente, respectivamente (Figura 14). Esta Figura apresenta esquematicamente,

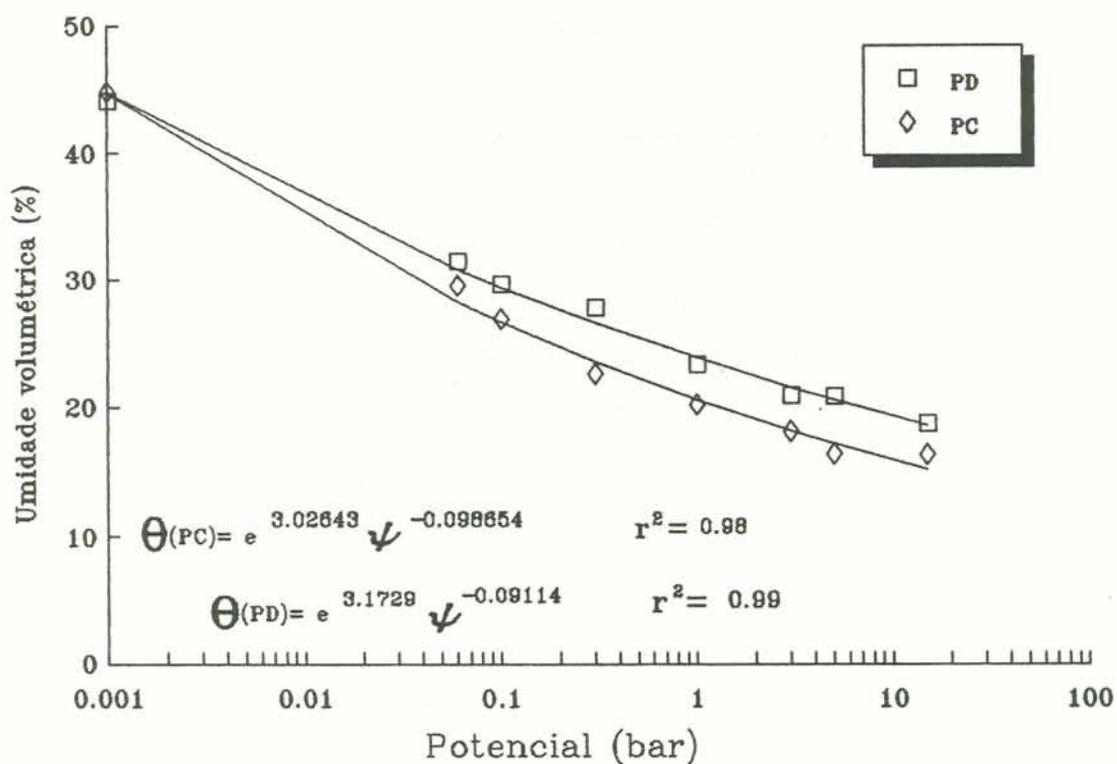


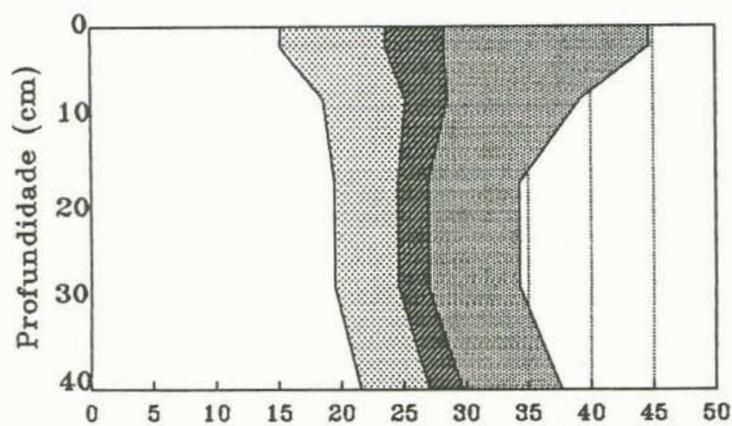
FIGURA 13 - Curva característica de retenção de água em um solo PVE, na profundidade 0 a 2 cm, submetido a plantio direto (PD) e preparo convencional (PC). Valores médios de seis repetições.

a água retida pelo solo nos referidos potenciais até a profundidade de 40 cm, submetido a preparo convencional e plantio direto. Conforme já discutido, o comportamento dos dois sistemas foi bastante semelhante. No entanto, verifica-se uma tendência de maior umidade volumétrica na camada de 0 a 2 cm do plantio direto nos potenciais de -0,006, -0,03 e -1,5 MPa, o que implica em tendência de menor macroporosidade uma vez que não há diferenças na porosidade total entre os dois sistemas. A porosidade total é superior na camada superficial em ambos sistemas, não diferenciando-se nas demais profundidades (Apêndice 3).

Contrariando o verificado, SIDIRAS et al (1983), encontraram valores superiores de umidade volumétrica em diferentes potenciais e profundidades, num Latossolo Roxo sob plantio direto durante 4 anos, em comparação ao preparo convencional.

Os valores acumulados de umidade volumétrica em cada potencial, nos dois perfis até a profundidade de 40 cm, indicam que em termos de lâmina de água possível de ser retida pelo solo, não há diferença entre os sistemas de preparo (Figura 15). Observa-se que o total possível de água retida pelo solo até a profundidade de 40 cm na tensão de -0,006 MPa gira em torno dos 170 mm, dos quais cerca de 110 mm estão retidos a potenciais inferiores a 1,5 MPa.

Preparo convencional



Plantio direto

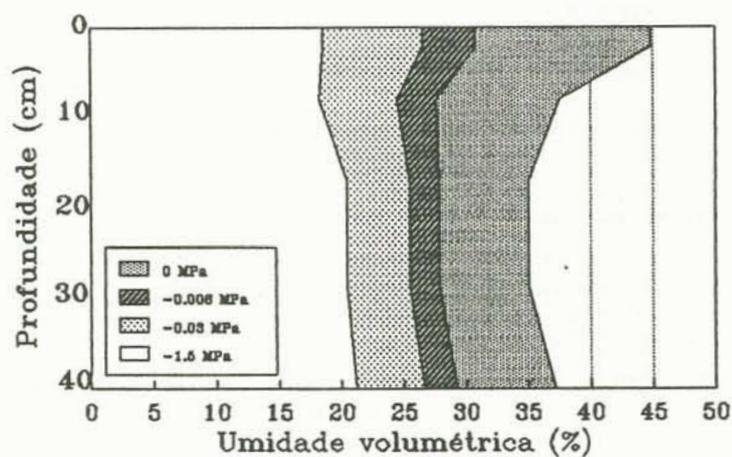


FIGURA 14 - Umidade volumétrica do solo no perfil de 0 a 40 cm de profundidade, nos potenciais de 0; -0,006; -0,03 e -1,5 MPa no plantio direto e no preparo convencional.

4.6 - Conteúdo e estado energético da água

Os resultados da umidade gravimétrica e volumétrica do solo encontra-se no Apêndice 2. De modo geral observa-se diferenças significativas de umidade entre os tratamentos apenas na camada superficial de 0 a 5 cm, e eventualmente na profundidade de 5 a 10 cm. As diferenças tendem a ser maiores no período menos chuvoso e também na medida em que o solo vai secando. Em todas as situações o plantio direto apresentou mais água que os outros sistemas. O preparo convencional sempre apresentou os menores valores. Tal comportamento é verificado na literatura, onde é atribuído a menor retenção de água e maiores perdas por evaporação nos preparos convencionais (BELVINS et al, 1971).

Com a sobreposição dos valores de conteúdo de água e as curvas de retenção, foram obtidos perfis de umidade do solo sob os diferentes sistemas de preparo. Estes contêm a umidade volumétrica nas diferentes profundidades, o estado energético da água e a evolução com o tempo, dentro dos diversos ciclos de umedecimento e secamento do solo.

Utilizou-se a capacidade teórica de retenção de água em diferentes potenciais no perfil (Figura 14) para desenvolver um estudo comparativo da água do solo sob preparo convencional e plantio direto ao longo do período experimental.

A figura 16 apresenta o ciclo de secamento do solo durante o período de 24/09 a 1º/10, após uma

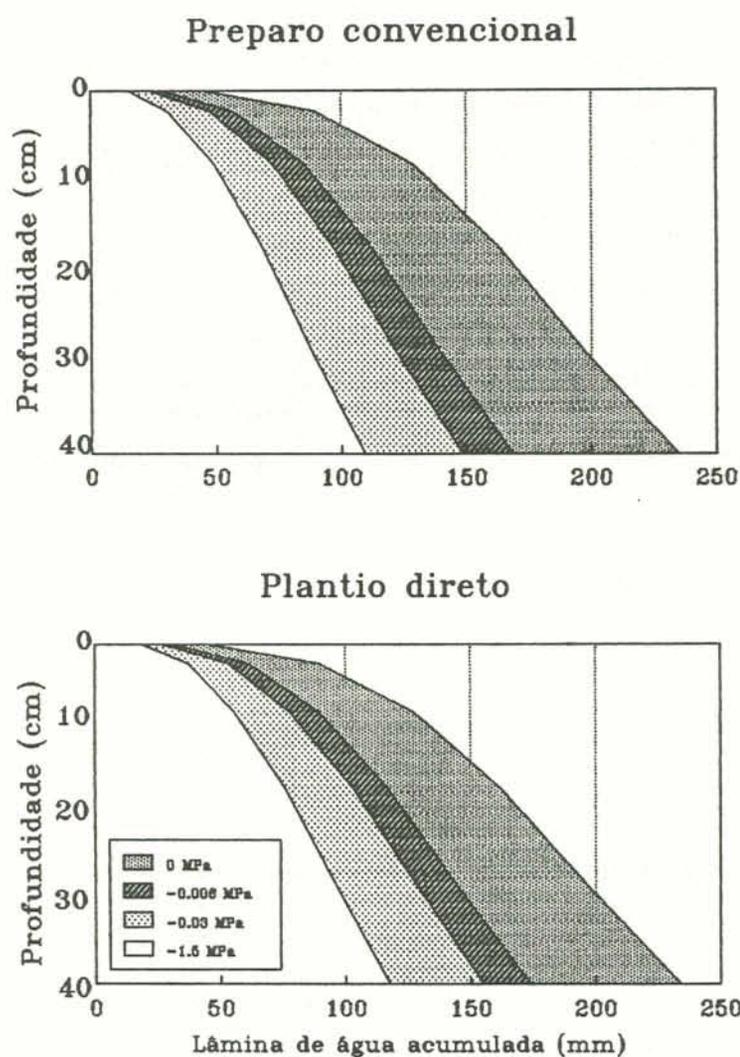


FIGURA 15 - Lâmina de água acumulada no perfil do solo até a profundidade de 40 cm, nos potenciais de 0; -0,006; -0,03; e -1,5 MPa, em plantio direto e preparo convencional.

precipitação de cerca de 70 mm. Percebe-se claramente as diferenças entre os dois sistemas. No dia 24/09, enquanto o preparo convencional apresentava umidade volumétrica de aproximadamente 25% , à potencial inferior a $-0,006$ MPa, na camada superficial o plantio direto estava com aproximadamente 35% de umidade volumétrica a potencial superior a $-0,006$ MPa. Esta grande diferença entre os preparos, na camada superficial, repete-se nos dias seguintes, com o preparo convencional, a partir de 26/09, apresentando a água retida a potenciais próximos a $-1,5$ MPa, enquanto no plantio direto só a partir de 1/10 estava a potencial próximo a $-0,03$ MPa. Fica evidente que o processo de secamento do solo ocorre mais intensivamente, na camada superficial do solo sob preparo convencional.

Neste período, nas profundidades abaixo dos 5 cm, em ambos os sistemas, a umidade do solo estava na faixa entre $-0,006$ e $-1,5$ MPa. Observa-se também que, o preparo convencional na profundidade entre 15 e 30 cm apresenta maior volume de água. Este fato pode estar indicando a presença de uma camada com menor condutividade hidráulica, por alteração da estrutura do solo nesta profundidade no preparo convencional.

No ciclo seguinte, de 15 a 17/10 (Figura 17), as amostragens foram efetuadas após ter havido uma precipitação de cerca de 160 mm e complementada com irrigação nos locais de amostragem no dia anterior, afim de garantir a saturação do solo. O solo foi coberto com plástico para

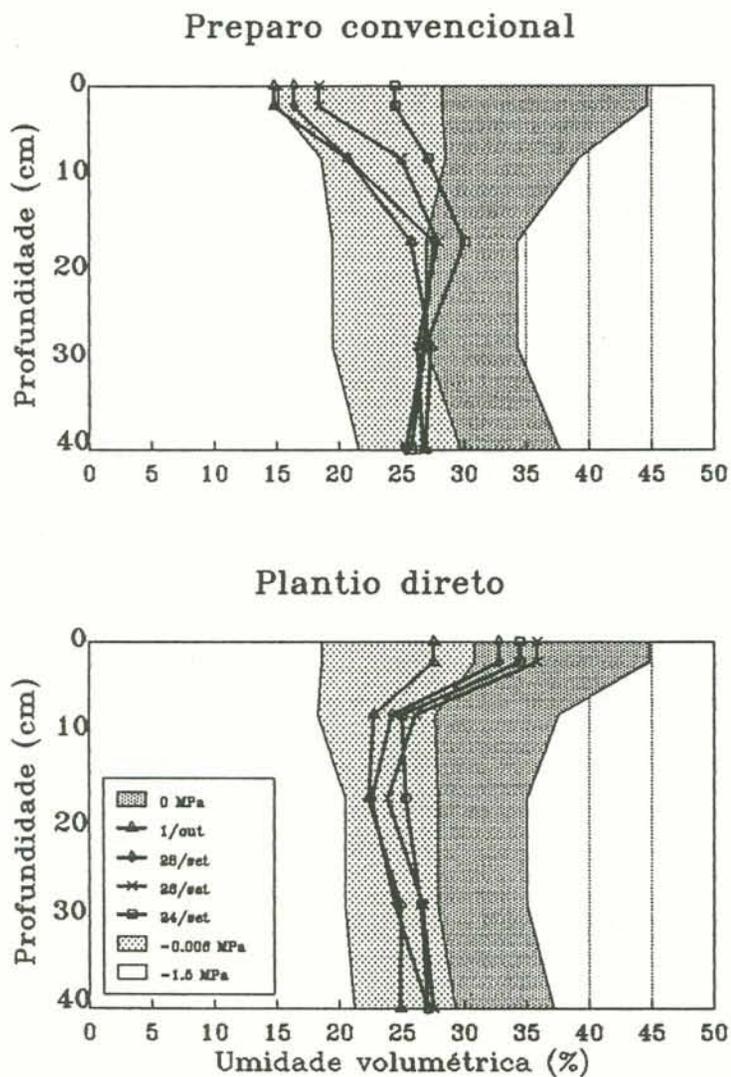


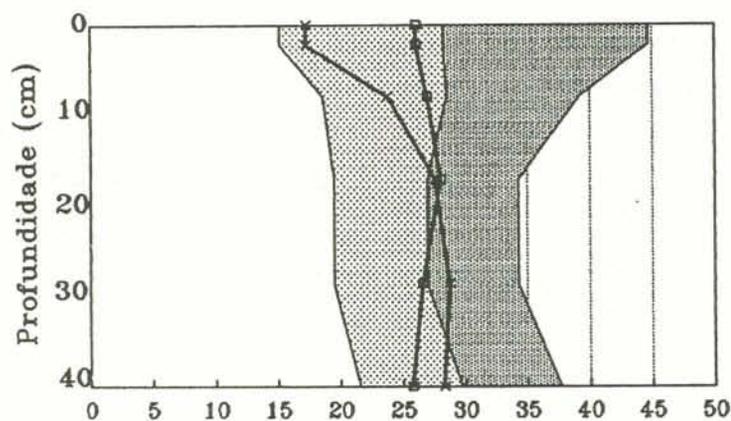
FIGURA 16 - Evolução da umidade volumétrica no perfil do solo até a profundidade de 40 cm, nos dias 24, 26, 28/09 e 1/10, em plantio direto e preparo convencional. Como referência a umidade volumétrica do solo nos potenciais de $-0,006$ e $-1,5$ MPa.

evitar a evaporação até o momento da amostragem. Neste ciclo, em ambos os sistemas, obteve-se os maiores valores para umidade do solo.

O plantio direto apresentou em 15 de outubro, nos primeiros 10 cm, porcentagem de umidade volumétrica superior à do limite de $-0,006$ MPa, indicando ter havido saturação da camada superior e posterior distribuição no perfil. O preparo convencional não expressou sua potencialidade possível de infiltração e retenção de água na superfície, provavelmente devido a existência de crosta que impediu a infiltração de água no solo. Porém, na camada de 15 a 25 cm verificou-se acúmulo de água, estando a potenciais superiores a $-0,006$ MPa.

Após a retirada da cobertura plástica, antes da amostragem do dia 15/10, houve um rápido secamento do solo sob preparo convencional em comparação ao plantio direto, pois no dia 17/10 a umidade do solo já era próxima à correspondente a $-1,5$ MPa. Confirma-se a possibilidade de ter ocorrido impedimento a infiltração pelo fato do solo sob preparo convencional apresentar até a profundidade de 40 cm uma lâmina máxima de 147 mm, que no dia 15/10 atingiu apenas 107 mm, ou seja, 71,6 % de sua capacidade de retenção. Para as mesmas condições, o plantio direto apresentou uma lâmina total de 111 mm, correspondente a um preenchimento de 78,2% do espaço disponível. A diferença torna-se mais evidente ao considerar-se apenas a camada superficial, de 0 a 5 cm, onde efetivamente ocorrem os fenômenos de

Preparo convencional



Plantio direto

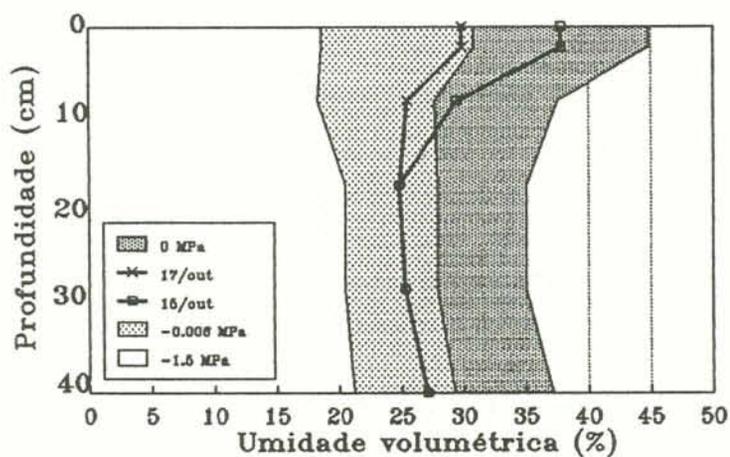


FIGURA 17 - Evolução da umidade volumétrica no perfil do solo até a profundidade de 40 cm, nos dias 15 e 17/10, em plantio direto e preparo convencional. Como referência a umidade volumétrica do solo nos potenciais de $-0,006$ e $-1,5$ MPa.

entrada e perda de água, neste caso o preparo convencional apresentou uma lâmina com 63,8% da lâmina de água possível, enquanto que o plantio direto apresentou 97,7%.

Na Figura 18, com o início do período de menor disponibilidade hídrica, ambos os sistemas atingiram valores de umidade inferiores aos correspondentes ao nível de -1,5 MPa. O preparo convencional, na profundidade de 10 a 15 cm, apresentou tais condições, desde o início do ciclo, em 21/11. Nesta data o plantio direto ainda estava na faixa de ótima disponibilidade em todo o perfil. O acúmulo de água no preparo convencional, na profundidade de 15 a 30 cm aproximadamente, repete-se neste ciclo, mesmo com a camada superficial estando extremamente seca.

No ciclo seguinte (Figura 19), período de 28 a 30/11, após irrigação do experimento em 28/11, observou-se comportamento similar ao ciclo anterior no preparo convencional. A camada entre 15 e 30 cm de profundidade, sob este preparo apresentou umidade superior ao apresentado no solo sob plantio direto, atingindo valores próximos de 30% e superiores ao limite de umidade volumétrica para o potencial de -0,006 MPa.

Na Figura 20 está representado o comportamento dos preparos nos dias 12 a 17/12, período com elevada demanda evaporativa atmosférica. Observa-se que em três dias a água atingiu potencial inferior a -1,5 MPa na camada superficial do solo sob preparo convencional. A evaporação não ocorreu na mesma intensidade no plantio direto, pois em 17/12

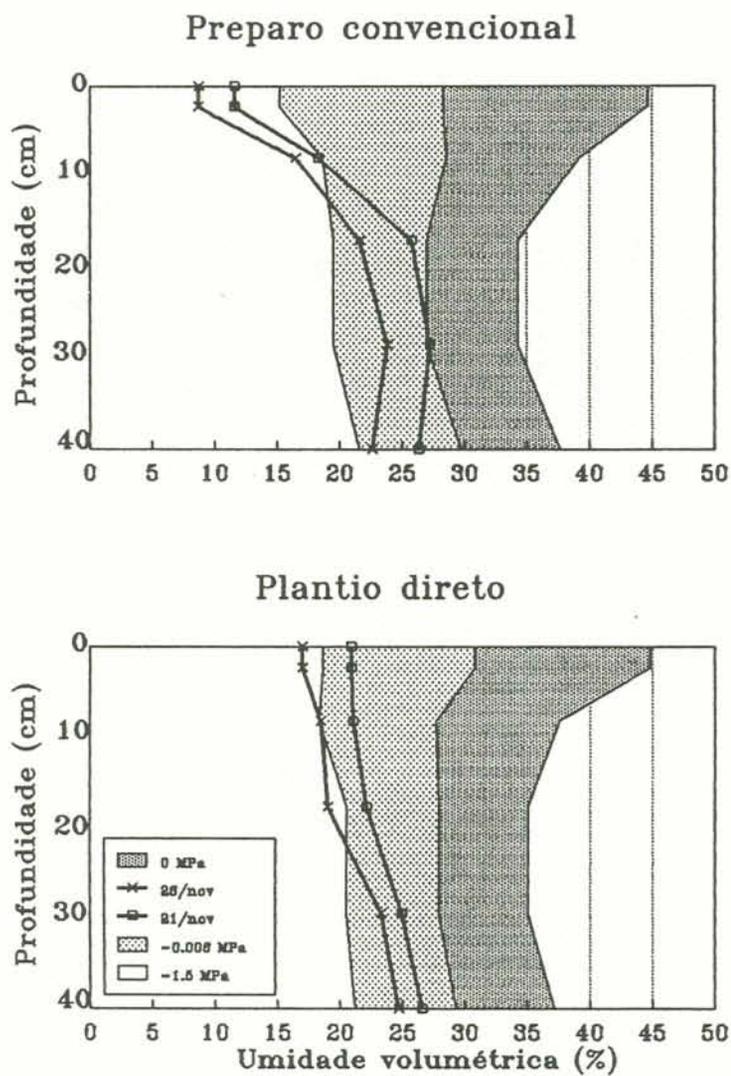


FIGURA 18 - Evolução da umidade volumétrica no perfil do solo até a profundidade de 40 cm, nos dias 21 e 26/11, em plantio direto e preparo convencional. Como referência a umidade volumétrica do solo nos potenciais de $-0,006$ e $-1,5$ MPa.

apenas na camada 0 a 5 cm foi atingido o valor de $-1,5$ MPa, enquanto que no preparo convencional tal limite foi ultrapassado na camada de 10 cm desde o dia 15/12. Este comportamento demonstra que no preparo convencional a resistência oferecida ao fluxo de água do solo para a atmosfera é inferior ao oferecido pelo plantio direto. A redução da evaporação no plantio direto é determinado pela cobertura do solo, que proporciona menor disponibilidade de calor latente para evaporação da água, e interage com o aumento da capacidade de retenção de água da camada superficial. O comportamento apresentado neste ciclo adequa-se aos estágios do processo de evaporação descritos por LEMMON (1956). No preparo convencional, caracterizou-se no período entre os dias 12 e 15/12, quando a taxa de evaporação cai, indicada pela pequena alteração da umidade volumétrica entre os dias 15 e 17/12. No plantio direto a variação da umidade volumétrica do solo manteve-se uniforme durante o período do ciclo.

Na Figura 21 esta representado o comportamento do solo quanto ao umedecimento. A umidade volumétrica no dia 9 de janeiro, com aproximadamente um mes sem a ocorrência de chuvas e elevada demanda evaporativa, o solo apresentava-se com a superfície extremamente seca. O preparo convencional, apresentava-se com cerca de 5% de umidade volumétrica na camada 0 a 5 cm e potencial da água muito abaixo de $-1,5$ MPa. Todo o perfil deste preparo estava com a água em potenciais abaixo de $-1,5$ MPa, enquanto que o plantio direto

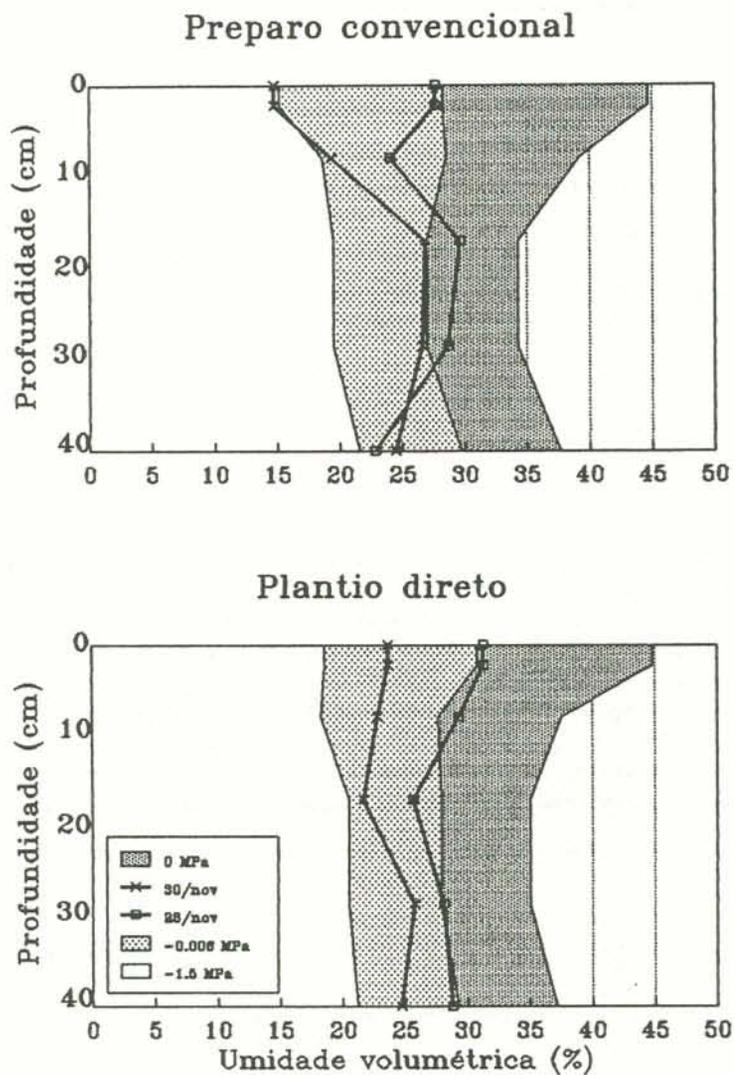


FIGURA 19 - Evolução da umidade volumétrica no perfil do solo até a profundidade de 40 cm, nos dias 28 e 30/11, em plantio direto e preparo convencional. Como referência a umidade volumétrica do solo nos potenciais de $-0,006$ e $-1,5$ MPa.

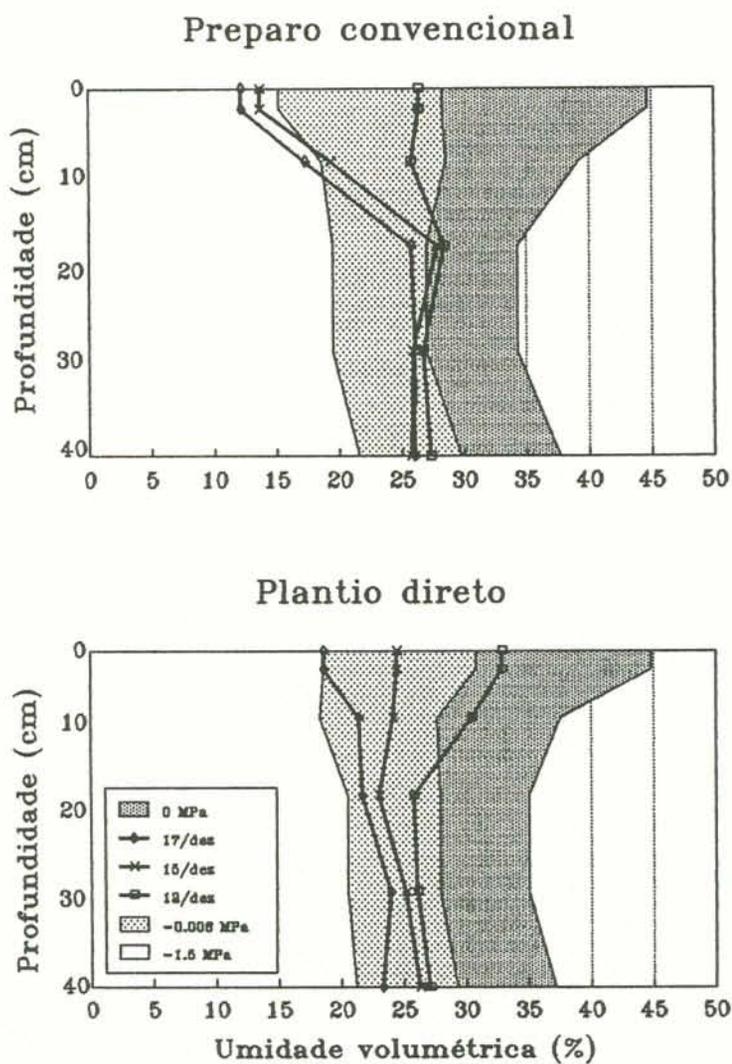


FIGURA 20 - Evolução da umidade volumétrica no perfil do solo até a profundidade de 40 cm, nos dias 12, 15 e 17/12, em plantio direto e preparo convencional. Como referência a umidade volumétrica do solo nos potenciais de $-0,006$ e $-1,5$ MPa.

apresentava, nas profundidades abaixo dos 20 cm, potenciais na faixa de disponibilidade para as plantas. Indicando efeitos dos sistemas de preparo, mesmo após longo período de estiagem.

Após a amostragem do dia 9/01, ocorreram precipitações pluviais com o total de 23,3 mm, sendo em 11 de janeiro realizada outra amostragem, onde verificou-se a evolução do processo de umedecimento do solo. No preparo convencional fica evidente que a água só foi suficiente para umedecer até a profundidade de 15 cm, não havendo alteração na umidade da camada 15 a 30 cm. No plantio direto, onde a umidade inicial era mais alta, houve alteração da umidade em todo o perfil.

4.7 - Rendimento do milho

O rendimento médio de grãos do milho obtidos na safra de 1991 foram de 4,4; 4,4 e 4,8 t/ha respectivamente para o plantio direto, preparo reduzido e preparo convencional, não apresentando diferenças significativas entre os tratamentos testados. Este comportamento foi obtido, mesmo tendo havido diferenças expressivas entre os tratamentos com relação a disponibilidade de água para as plantas, devido as irrigações efetuadas sempre que o solo apresentava início de déficit hídrico, em períodos críticos para a cultura, visando atender outros objetivos deste projeto de pesquisa. Assim a manifestação das condições de umidade do

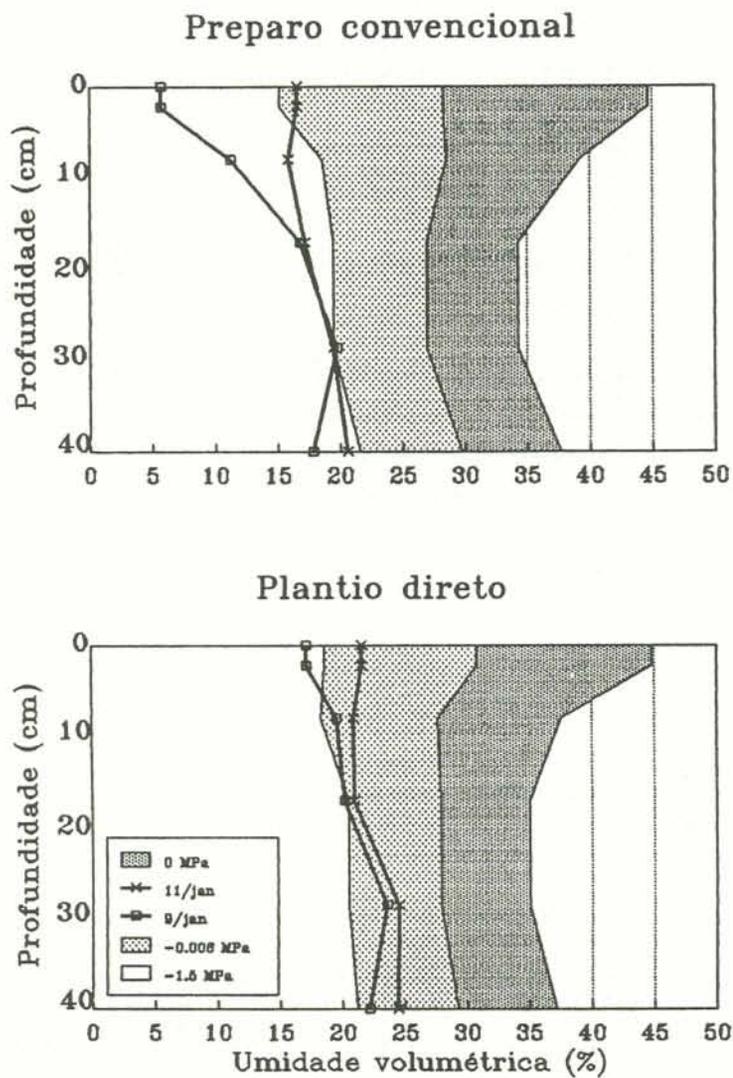


FIGURA 21 - Evolução da umidade volumétrica no perfil do solo até a profundidade de 40 cm, nos dias 9, e 11/01, em plantio direto e preparo convencional. Como referência a umidade volumétrica do solo nos potenciais de $-0,006$ e $-1,5$ MPa.

solo, através do rendimento do milho, nos sistemas de preparo, não pode ser avaliada.

5 - CONCLUSÕES

a) Os sistemas de preparo afetam significativamente as temperaturas máximas e mínimas do solo, apresentando o plantio direto, a menor temperatura máxima e menor variação diária da temperatura do solo durante o período experimental.

b) Das variáveis afetadas pelo preparo a cobertura e a capacidade calorífica volumétrica, foram as que mais afetaram a amplitude térmica do solo.

c) Após um período de 6 anos, o emprego dos sistemas de preparo, na forma com que foram utilizados, não se diferenciaram quanto a alterações na capacidade de retenção de água, densidade e porosidade do solo.

d) O plantio direto apresentou maior umidade do solo na camada superficial, em função da cobertura do solo que reduziu as perdas por evaporação.

6 - REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALEXANDER, M. 1980. *Introducción a la microbiología del suelo*. Madrid. 491 p.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. 1973. *Física de suelos*. México, Ed. Hispano-Americana. 529 p.
- BELVINS, R.L.; DOYLE COOK; PHILIPS, S.H. & PHILLIPS, R.E. 1971. Influence of no-tillage on soil moisture. *Agronomy Journal*, Madison, 63:593-596.
- BERGAMASCHI, H. & GUADAGNIN, M.R. 1990. *Agroclima da Estação Experimental Agronômica/UFRGS*. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia, não paginado.
- BERTOL, I. 1986. *Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e presença de cobertura vegetal por resíduos culturais de trigo*. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia. 158 f. Diss. Mestr. Agronomia, Solos.
- BOND, J.J. & WILLIS, W.O. 1969. Soil water evaporation: Surface residue rate and placement effects. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 33:445-8.
- BRAGAGNOLO, N. 1986. *Efeito da cobertura do solo por resíduos de culturas sobre a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento do milho*. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia. 119 f. Diss. Mestr. Agronomia, Solos.
- BRAGAGNOLO, N & MIELNICZUK, J. 1990. Cobertura do solo por sistemas de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 14:91-98.
- BRAGAGNOLO, N & MIELNICZUK, J. 1990a. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 14:369-375.
- BUDYKO, M.I. 1974. *Climate and life*. New York, Academic Press. 508 p.

- CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H. 1987. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. Separata do **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, 12(1): 11-33.
- COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C.; FOSTER, G.R. 1984. Soil loss reduction from conservation tillage practices. **Soil Science Society America Journal**, Madison, 48:368-373.
- DULEY, F.L. 1939. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, 4:60-4.
- FORSYTHE, W.M. 1967. Las propiedades físicas, los factores de crecimiento y la productividad del suelo. **Fitotecnia Latinoamericana**. San Jose, 2(4):165-176.
- FORSYTHE, W.M. 1975. **Física de suelos: manual de laboratorio**. San Jose, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 212 p.
- FREITAS, V.H.de 1988. **Eficiência de sistemas de preparo do solo e de culturas no fornecimento de nitrogênio para o milho**. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia. 159 f. Diss. Mestr. Agron. Solos.
- GARCIA-BLASQUES, C.M. 1989. **Fixação de nitrogênio pela soja em condições limitantes de temperatura e umidade do solo**. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia. 120 f. Diss. Mestr. Agronomia, Solos.
- GARDNER, H.R. 1983. Evaporation of water from bare soil. In: TAYLOR, H.M.; JORDAN, W.R.; SINCLAIR, T.R. eds. **Limitations to efficient water use in crop production**. Madison, America Society of Agronomy, Crop Science Society of America e Soil Science Society of America. 538 p.
- GHUMAN, B.S. & LAL, R. 1983. Effect of crop cover on temperature regime of on Alfisol in the tropics. **Agronomy Journal**, Madison, 75:931-936.
- GUPTA, S.C.; LARSON, W.E.; LINDEN, D.R. 1983. Tillage and surface residue effects on soil upper boundary temperatures. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 47:1212-18.
- GUPTA, S.C.; SHARMA, P.P. & DeFRANCHI, S.A. 1989. Compaction effects on soil structure. **Advances in Agronomy**, New York, 42:311-338.
- HETFIELD, J.L. & EGLI, D.B. 1974. Effect of temperature on rate of soybean hypocotyl elongation and field emergence. **Crop science**, Madison, 14:423-426.

- HILLEL,D. 1980. **Applications of soil physics**. New York, Academic Press, 385 p.
- HILLEL,D. 1982. **Introduction to soil physics**. New York, Academic Press, 364 p.
- JOHNSON,M.D. & LOWERY,B. 1985. Effect of three conservation tillage practices on soil temperature and thermal properties. **Soil Science Society of America Journal**. Madison. 49:1547-52.
- KEMPER,B. & DERPSCH,R. 1981. Results of studies made in 1978 and 1979 to control erosion by cover and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, 1:253-267.
- LAL,R. 1974. Effects of constant and fluctuating soil temperature on growth, development and nutrient uptake of maize seedlings. **Plant and soil**, Amsterdam, 40:589-606.
- LAL,R. 1975. **Role of mulching techniques in tropical soil and water management**. Ibadan, International Institute of Tropical Agriculture, 37 p. (Technical Bulletin, 1).
- LEMON,E.R. 1956. The potencialities for decreasing soil moisture evaporaton loss. **Soil Science Society of America proceedings**, Madison, 20:120-5.
- LOPES,P.R.C. 1984. **Relações da erosão com tipos e quantidades de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo**. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia. 127 f. Diss. Mestr. Agronomia, Solos.
- MAZUCHOWSKI,J.Z. & DERPSCH,R. 1984. **Guia de preparo do solo para culturas anuais mecanizadas**. Curitiba, ACARPA. 68 p.
- MELLO,W.M.P. 1991. **Desenvolvimento radicular do milho sob métodos de preparo do solo e semeadura direta**. Porto Alegre. UFRGS, Faculdade de Agronomia, Diss. Mestr. Ci. Solo. Em andamento.
- MIEDEMA,P. 1982. The effects of low temperature on Zea mays. **Advances in Agronomy**, New York, 35:93-127.
- MOSSIER,J.G. & GUSTAFSON,A.F. 1917. **Soil physics and management**. Urbana, College of Agriculture, University of Illinois. 422 p.
- NIELSEN,K.F. 1974. Roots and root temperatures. In: CARSON,E.W. ed. **The plant root and its environment**. Charlottesville, University Press of Virginia. 691 p.

- POPININGIS, F. 1977. **Fisiologia da semente**. Brasília, DF, Agiplan. 289 p.
- POTTER, K.N.; CRUSE, R.M.; HORTON, R. 1985. Tillage effects on soil thermal properties. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, 49:968-73.
- REICHARDT, K. 1985. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas, Fundação Cargill. 466 p. 4ª ed.
- RICHARDS, L.A. 1965. Physical condition of water in soil. In: BLACK, C.A. ed. **Methods of soil analysis**. Part 1, Madison, American Society of Agronomy, 770 p.
- ROSSO, A. de 1989. **Manejo de culturas de cobertura do solo no inverno e sua relação com a produtividade do milho**. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia. 126 f. Diss. Mestr. Agronomia. Solos.
- RUSSEL, J.C. 1939. The effect of surface cover on soil moisture losses by evaporation. **Soil Society America Proceedings**, Madison, 4:65-70.
- SIDIRAS, N.; DERPSCH, R.; MONDARDO, A. 1983. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja, em um Latossolo Roxo distrófico (Oxisol). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 7:103-6.
- SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. 1986. Influência do sistema de manejo na temperatura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 10:181-84.
- SILVA, H.P. 1986. **Infiltração da água em um Podzólico Vermelho-escuro fisicamente degradado em processo de recuperação**. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia. 105 f. Dissert. Mestr. Agronomia. Solos.
- TAYLOR, S.A. & ASHCROFT, G.L. 1972. **Physical edaphology**. San Francisco, W.H. Freeman and company. 532 p.
- TUBELIS, A. 1972. **Meteorologia e climatologia agrícolas**. Botucatu, Faculdade de ciências médicas e biológicas. 3 V.
- TUBELIS, A. & NASCIMENTO, F.J. 1987. **Meteorologia descritiva, fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo, Nobel. 374 p.

- UNGER, P.W. & CASSEL, D.K. 1991. Tillage implement disturbance effects on soil properties related on soil and water conservation: a literatura review. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, 19:363-382.
- UNGER, P.W. & STEWART, B.A. 1983. Soil management for efficient water use: An overview. In. TAYLOR, H.M.; JORDAN, W.R.; SINCLAIR, T.R. eds. **Limitations to efficient water use in crop production**. Madison, America Society of Agronomy, Crop Science Society of America e Soil Science Society of America. 538 p.
- VIEIRA, M.J. & MUZILLI, O. 1984. Características físicas de um latossolo vermelho-escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 19(7):873-882.

7 - APÉNDICES

APÊNDICE 1 - Elementos meteorológicos observados na
EEA/UFRGS.

Data	R S	Temperatura do ar -----°C-----			Temp. solo 9 h. -----°C-----			Temp. solo 15 h. -----°C-----			---mm--- Chuva
		méd.	máx.	min.	PD	PR	PC	PD	PR	PC	
1/9	56	11,0	14,4	7,2	-	-	-	-	-	-	9,3
2/9	204	9,8	13,6	8,0	-	-	-	-	-	-	0
3/9	348	14,6	19,4	12,8	-	-	-	-	-	-	0
4/9	212	15,8	20,8	11,8	-	-	-	-	-	-	1,2
5/9	344	16,1	22,8	11,8	14,6a	14,6a	14,7a	17,7b	18,9b	22,5a	0
6/9	124	16,7	18,8	16,2	16,0b	16,2ab	16,6a	16,5b	16,9b	17,4a	2,9
7/9	180	17,4	20,8	15,6	-	-	-	-	-	-	31,8
8/9	212	15,8	18,2	14,0	-	-	-	-	-	-	0
9/9	416	15,9	22,4	12,4	-	-	-	-	-	-	0
10/9	400	15,0	23,2	9,0	15,4a	15,2a	15,1a	20,1a	19,9a	23,5a	0
11/9	32	15,3	19,6	10,2	15,6a	15,6a	15,1b	16,2a	16,2a	16,2a	86,0
12/9	100	12,3	17,0	12,0	14,4a	14,4a	14,4a	14,5a	14,4a	14,3a	3,6
13/9	424	8,1	14,4	4,2	11,3a	10,9ab	10,5b	13,7b	14,5b	15,9a	0
14/9	236	9,1	13,8	3,8	10,7a	10,1a	8,8a	13,2b	13,2b	14,2a	2,8
15/9	340	12,3	18,2	5,2	-	-	-	-	-	-	0
16/9	448	15,0	23,4	8,2	-	-	-	-	-	-	0
17/9	460	15,6	21,6	8,0	14,3a	14,2a	14,9a	17,3c	19,3b	23,7a	0
18/9	68	15,4	17,0	14,6	15,3a	15,5a	15,5a	15,5b	15,7ab	15,9a	9,0
19/9	256	15,6	20,2	12,8	15,1a	15,2a	15,2a	17,6b	18,4b	20,5a	21,0
20/9	52	16,4	17,6	14,6	15,4a	15,3a	15,4a	16,0a	15,8a	16,4a	15,3
21/9	44	16,0	17,6	14,0	15,7a	15,6a	15,6a	16,6a	16,6a	16,7a	20,9
22/9	148	17,1	22,4	16,0	-	-	-	-	-	-	2,7
23/9	492	12,3	17,2	9,0	-	-	-	-	-	-	0
24/9	416	9,9	16,4	5,0	13,0a	12,3a	12,6a	16,3c	17,8b	21,8a	0
25/9	448	10,4	17,0	4,0	12,3a	12,5a	13,0a	16,7c	18,8b	23,5a	0
26/9	496	14,4	21,8	7,2	13,9ab	13,7b	14,7a	17,7c	20,3b	25,7a	0
27/9	488	16,9	23,4	11,0	15,4b	15,5b	17,0a	19,3c	21,9b	27,1a	0
28/9	300	17,9	22,0	13,0	16,7b	17,2b	18,6a	18,9b	19,7b	23,8a	0,8
29/9	204	18,8	23,0	16,4	-	-	-	-	-	-	0
30/9	224	19,0	23,8	16,0	-	-	-	-	-	-	0
1/10	386	21,2	27,8	14,0	18,2b	18,7b	20,2a	22,9c	24,3b	29,9a	12,4
2/10	192	19,7	22,2	19,8	19,9c	20,2b	20,7a	-	-	-	0,3
3/10	488	20,4	25,2	18,0	21,5b	21,9b	23,9a	25,4c	27,9b	33,6a	0
4/10	488	23,2	30,0	16,4	-	-	-	-	-	-	0
5/10	392	24,8	32,0	17,6	-	-	-	-	-	-	10,0
6/10	132	21,4	23,2	20,4	-	-	-	-	-	-	2,0
7/10	164	22,2	25,4	19,6	-	-	-	-	-	-	48,6
8/10	56	20,8	22,4	21,0	-	-	-	-	-	-	20,3
9/10	140	16,9	19,8	15,8	19,1a	18,9ab	18,1b	19,5a	19,7a	19,7a	13,6
10/10	340	19,4	25,0	16,2	19,2a	19,3a	19,6a	22,8c	24,5b	26,8a	0
11/10	204	20,5	25,2	17,0	19,7a	19,7a	19,6a	22,5c	23,3b	24,3a	102,6
12/10	312	19,7	24,8	20,0	20,9a	20,9a	21,0a	21,7b	22,3ab	23,2a	0,2
13/10	548	16,7	22,0	10,2	-	-	-	-	-	-	27,1
14/10	96	18,0	19,8	30,7	-	-	-	-	-	-	0
15/10	504	15,8	20,0	15,2	18,0a	18,0a	18,7a	19,7b	21,7a	22,9a	0
16/10	460	16,0	20,4	10,8	16,4a	16,2a	17,1a	19,1c	21,1b	24,9a	0

APÊNDICE 1 - Continuação...

17/10	320	17,8	21,6	13,8	16,8a	16,9a	17,5a	20,9a	20,7a	23,7a	0
18/10	440	20,4	26,0	15,6	18,5b	18,9ab	19,4a	22,4c	24,5b	26,6a	0,1
19/10	428	20,5	27,0	18,2	20,2b	20,5ab	20,9a	24,4c	25,9b	29,1a	18,9
20/10	236	19,9	24,6	17,2	21,1c	21,6b	22,5a	-	-	-	0,2
21/10	207	18,7	23,4	15,0	-	-	-	-	-	-	0,2
22/10	576	18,5	24,4	14,0	19,5a	19,6a	20,3a	22,3b	25,6b	29,3a	0
23/10	556	19,4	25,2	14,0	19,9b	20,1b	22,0a	23,7c	26,0b	30,7a	0
24/10	380	19,6	23,6	17,2	19,8b	20,3b	21,2b	22,3c	24,5b	27,5a	0
25/10	580	22,9	26,2	17,8	21,1b	21,7ab	23,4a	25,2c	27,9b	32,6a	0
26/10	304	21,4	24,0	19,8	20,8b	21,4a	21,8a	23,2b	24,1b	26,6a	0
27/10	524	22,9	29,0	18,6	-	-	-	-	-	-	0
28/10	468	23,6	30,8	17,0	-	-	-	-	-	-	0
29/10	276	22,6	25,8	19,4	23,7c	24,5b	25,8a	24,8c	26,1b	28,6a	16,1
30/10	504	25,3	31,0	20,2	23,1c	23,5b	24,3a	27,3c	28,8b	30,5a	0
31/10	260	22,6	29,8	21,0	24,5c	24,9b	25,5a	27,0b	27,4b	29,2a	28,3
1/11	244	20,6	22,8	18,0	22,4a	22,7a	23,1a	23,4b	24,1ab	24,8a	0
2/11	476	21,7	25,8	18,2	-	-	-	-	-	-	0
3/11	460	24,4	32,6	18,2	-	-	-	-	-	-	110,0
4/11	72	19,6	23,0	20,0	-	-	-	-	-	-	35,0
5/11	584	15,0	20,1	12,0	19,5a	19,4a	20,2a	23,5b	25,1ab	26,4a	0
6/11	604	18,4	24,8	10,8	19,1b	19,0b	20,5a	23,9b	26,4b	31,2a	24,8
7/11	276	20,3	23,8	18,0	20,3a	20,5a	20,7a	24,0b	25,1b	27,1a	0
8/11	328	20,4	23,2	18,4	21,5a	21,6a	22,0a	23,0b	23,7ab	24,8a	7,8
9/11	420	21,4	25,0	19,2	21,5a	21,7a	21,9a	24,1b	24,8b	26,1a	4,5
10/11	408	20,8	25,4	18,0	-	-	-	-	-	-	0
11/11	264	21,5	26,0	18,2	-	-	-	-	-	-	0
12/11	124	21,1	22,8	19,8	22,3a	22,3a	22,5a	22,6a	23,9a	23,1a	3,3
13/11	536	27,8	36,0	18,6	22,9b	23,1b	24,6a	29,5b	31,1b	35,3a	1,5
14/11	564	29,2	37,0	23,2	26,5b	26,7b	28,9a	31,1c	33,7b	39,4a	0
15/11	488	26,5	37,0	22,8	-	-	-	-	-	-	4,9
16/11	352	21,5	24,6	20,4	24,5a	24,7a	25,1a	26,2b	27,3ab	28,8a	0
17/11	532	22,6	27,8	18,4	-	-	-	-	-	-	0
18/11	404	25,2	31,8	19,8	-	-	-	-	-	-	0
19/11	572	25,9	32,8	21,4	27,0c	27,8b	30,8a	32,1c	35,4b	40,9a	0
20/11	496	27,3	37,0	22,0	27,7c	28,4b	30,9a	34,1b	35,1b	40,1a	0
21/11	480	24,1	29,8	22,8	26,9a	27,6a	28,7a	31,2c	33,8b	38,1a	0
22/11	524	21,2	26,0	18,0	26,1b	26,9b	28,5a	30,7c	34,3b	39,3a	0
23/11	632	22,1	28,4	17,4	26,7b	27,6b	30,5a	31,5c	35,1b	39,6a	0
24/11	584	24,0	30,0	18,2	-	-	-	-	-	-	0
25/11	536	25,0	31,0	21,6	-	-	-	-	-	-	0
26/11	228	22,3	25,0	20,0	27,4b	28,1b	29,1a	26,7b	27,7b	29,1a	2,4
27/11	568	18,1	26,2	14,6	-	-	-	-	-	-	0
28/11	648	17,4	24,2	11,2	22,5a	22,2a	23,1a	28,6b	31,7ab	34,7a	0
29/11	640	19,7	27,2	11,8	23,3a	23,5a	24,6a	29,6c	32,9b	37,6a	0
30/11	588	24,2	32,8	15,2	25,1b	25,5b	27,7a	30,8c	33,4b	38,2a	0
1/12	560	23,2	29,0	19,6	-	-	-	-	-	-	0
2/12	356	24,1	33,4	20,4	-	-	-	-	-	-	20,4
3/12	448	19,8	23,6	19,0	24,9b	25,1ab	25,7a	27,2c	28,6b	30,1a	0
4/12	622	21,7	27,3	16,4	23,2b	23,8b	25,5a	29,2c	32,3b	37,1a	0
5/12	500	23,5	32,0	19,8	26,9b	27,4b	30,3a	-	-	-	10,6
6/12	248	24,3	29,6	20,0	26,6b	27,1b	27,9a	27,1b	27,5ab	27,9a	12,2

APÊNDICE 1 - Continuação...

7/12	488	22,3	29,4	20,2	25,5b	25,6ab	26,5a	29,5b	31,7a	33,2a	0
8/12	600	19,4	23,7	15,0	-	-	-	-	-	-	0
9/12	560	22,0	28,0	14,9	-	-	-	-	-	-	0
10/12	192	21,8	25,0	20,0	24,1b	24,6b	25,4a	25,1c	25,9b	26,9a	22,0
11/12	440	22,0	25,4	20,2	24,0b	24,2ab	24,8a	27,4b	28,8ab	29,7ab	7,1
12/12	392	18,2	24,0	10,8	21,8a	21,4a	22,0a	25,2b	26,0ab	27,0a	0
13/12	240	19,2	23,2	16,0	21,1a	21,0a	21,1a	23,9b	24,8b	26,0a	0
14/12	600	17,8	23,8	14,8	21,5a	21,4a	22,0a	27,0c	29,5b	33,7a	0
15/12	636	20,3	27,9	11,6	-	-	-	-	-	-	0
16/12	632	22,2	30,9	11,5	-	-	-	-	-	-	0
17/12	536	25,2	31,0	17,4	25,7b	25,7b	27,7a	31,9c	34,8b	38,6a	3,2
18/12	368	25,0	29,6	21,2	25,1a	25,6a	25,6a	27,1c	28,5b	31,4a	0
19/12	332	21,6	25,6	18,2	24,1b	24,7b	26,1a	29,1b	29,6ab	33,2a	0
20/12	660	20,6	25,6	18,0	-	-	-	30,0b	32,7b	37,1a	0
21/12	652	22,6	29,0	16,4	-	-	-	-	-	-	0
22/12	492	26,0	32,4	17,8	-	-	-	-	-	-	0
23/12	508	26,0	31,6	21,8	-	-	-	-	-	-	0
24/12	184	22,6	26,6	23,0	-	-	-	-	-	-	2,6
25/12	444	21,4	25,4	18,4	-	-	-	-	-	-	0
26/12	624	23,3	30,6	17,8	24,3b	24,3b	26,0a	31,8b	35,1b	39,9a	0
27/12	588	26,1	33,2	17,6	26,3b	26,7b	28,5a	35,1b	36,5b	41,5a	0,4
28/12	244	20,1	26,0	18,8	26,1b	26,9a	27,2a	26,7a	26,4a	29,1a	0,4
29/12	668	18,5	24,2	12,8	-	-	-	-	-	-	0
30/12	532	19,6	25,6	12,8	-	-	-	-	-	-	0
31/12	648	21,4	29,0	12,8	-	-	-	-	-	-	0
1/1	628	23,6	31,2	16,2	-	-	-	-	-	-	0
2/1	440	25,4	32,8	18,4	28,0b	28,6b	30,3a	32,6c	34,7b	38,5a	0
3/1	640	23,2	28,6	20,6	28,0b	28,6ab	30,0a	-	-	-	0
4/1	668	21,5	26,6	15,4	-	-	-	-	-	-	0
5/1	644	22,2	27,8	18,0	-	-	-	-	-	-	0
6/1	572	22,9	30,2	18,0	-	-	-	-	-	-	0
7/1	600	24,4	32,0	18,2	27,1b	27,1b	28,8a	34,3b	37,1b	42,0a	0
8/1	612	25,6	33,6	20,4	28,7b	28,9b	30,9a	32,3c	38,7b	43,5a	0
9/1	520	26,8	35,6	19,8	29,2b	29,4b	31,0a	36,6b	39,7b	44,2a	22,3
10/1	412	24,0	30,2	20,8	27,0a	27,5a	27,3a	32,4b	33,9b	35,5a	0,9
11/1	584	22,9	28,2	20,2	27,2a	27,3a	28,6a	31,7b	34,9b	39,8a	0
12/1	456	21,4	26,8	17,6	-	-	-	-	-	-	0
13/1	476	22,6	28,4	17,2	-	-	-	-	-	-	0
14/1	372	24,3	31,2	19,4	-	-	-	-	-	-	0
15/1	540	24,7	31,4	19,0	-	-	-	-	-	-	0

Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste Tukey. Dentro da mesma data e horário. † Médias de 3 repetições.
RS em cal/cm²/dia.

APÊNDICE 2 - Umidade gravimétrica e volumétrica do solo nos diferentes sistemas de manejo e datas de amostragem.

Data	Prof. ---cm---	Umidade gravimétrica			Umidade volumétrica		
		PD	PR	PC	PD	PR	PC
24/9	0 a 5	22,30a	21,40a	17,00b	34,48	30,82	24,48
	5 a 10	15,80b	18,40a	18,70a	24,96	26,68	27,11
	10 a 20	16,00a	16,90a	18,10a	25,28	24,50	30,05
	20 a 30	16,80a	18,90a	16,20a	26,54	31,37	26,89
	30 a 40	17,70a	19,10a	16,20a	27,08	30,37	25,76
26/9	0 a 5	23,20a	21,00a	12,80b	35,87	30,24	18,43
	5 a 10	16,50a	18,80a	16,60a	26,07	27,26	24,07
	10 a 20	15,10a	16,20a	16,80a	23,86	23,49	27,89
	20 a 30	16,90a	17,70a	15,80a	26,70	29,39	26,23
	30 a 40	18,00a	18,10a	16,80a	27,54	28,78	26,71
28/9	0 a 5	21,20a	19,10a	11,40b	32,78	30,82	16,42
	5 a 10	15,30a	16,50a	14,30a	24,17	26,68	20,73
	10 a 20	14,30a	15,70a	16,60a	22,59	24,50	27,56
	20 a 30	15,50a	17,20a	16,10a	24,49	31,37	26,73
	30 a 40	17,70a	18,60a	15,90a	27,08	30,37	25,28
1/10	0 a 5	17,80a	17,19a	10,27b	27,52	24,75	14,79
	5 a 10	14,39b	16,99a	14,29b	22,74	24,65	20,72
	10 a 20	14,13a	15,69a	15,51a	22,33	22,75	25,75
	20 a 30	15,79a	17,77a	16,47a	24,95	29,50	27,34
	30 a 40	16,27a	18,17a	16,91a	24,89	28,89	26,89
15/10	0 a 5	24,45a	20,10b	18,10b	37,80	28,94	26,06
	5 a 10	18,60a	20,00a	18,60a	29,39	29,00	26,97
	10 a 20	15,70a	16,80a	16,90a	24,91	24,36	28,05
	20 a 30	16,00a	18,60a	16,00a	25,28	30,88	26,56
	30 a 40	17,70a	18,50a	16,20a	27,08	29,42	25,76
17/10	0 a 5	19,30a	16,80a	12,00b	29,84	24,19	17,28
	5 a 10	16,10b	18,85a	16,40b	25,44	27,33	23,78
	10 a 20	15,70a	17,10a	16,60a	24,81	24,80	27,56
	20 a 30	15,80a	18,10a	17,30a	24,96	30,05	28,72
	30 a 40	17,10a	17,90a	17,80a	26,16	28,46	28,30
22/10	0 a 5	20,90a	18,10a	14,20b	32,31	26,06	20,45
	5 a 10	16,20a	18,80a	18,30a	25,60	27,26	26,54
	10 a 20	15,20a	17,50a	16,40a	24,02	25,38	27,22
	20 a 30	16,80a	15,80a	16,90a	26,54	26,23	28,05
	30 a 40	18,40a	17,00a	17,30a	28,15	27,03	27,51

APÊNDICE 2 - Continuação...

24/10	0 a 5	16,10a	17,60a	12,50b	24,89	25,34	18,00
	5 a 10	14,90a	16,60a	16,10a	23,54	24,07	23,35
	10 a 20	14,70a	16,20a	16,50a	23,23	23,49	27,39
	20 a 30	16,40a	19,00a	17,20a	25,91	31,54	28,55
	30 a 40	17,40a	18,90a	18,10a	26,62	30,05	28,78
26/10	0 a 5	18,60a	10,40b	11,10b	28,76	14,89	15,98
	5 a 10	15,00ab	13,50a	16,70a	23,70	19,57	24,21
	10 a 20	14,90a	15,30a	17,90a	23,54	22,18	29,71
	20 a 30	16,80a	18,10a	18,10a	26,54	30,05	30,05
	30 a 40	18,30a	17,80a	18,50a	28,00	28,30	29,42
29/10	0 a 5	17,30a	13,80b	11,50b	26,75	19,87	16,56
	5 a 10	15,40a	15,40a	15,40a	24,33	22,33	22,33
	10 a 20	14,30a	15,80a	16,30a	22,59	22,91	27,06
	20 a 30	15,80a	17,40a	15,90a	24,96	28,88	26,39
	30 a 40	15,90a	16,60a	16,70a	24,33	26,39	26,55
21/11	0 a 5	13,49	9,78	8,05	20,86	14,08	11,59
	5 a 10	13,31a	12,73a	12,64a	21,03	18,46	18,33
	10 a 20	13,97a	13,66a	15,50a	22,07	19,81	25,73
	20 a 30	15,76a	16,22a	16,39a	24,90	26,93	27,21
	30 a 40	17,36a	16,90a	16,55a	26,56	26,87	26,31
26/11	0 a 5	10,96	7,55	6,05	16,94	10,87	8,71
	5 a 10	11,68	11,05a	11,36	18,45	16,02	16,47
	10 a 20	12,04a	12,86a	13,02a	19,02	18,65	21,61
	20 a 30	14,75a	15,44a	14,32a	23,30	25,63	23,77
	30 a 40	16,11a	15,68a	14,19a	24,65	24,93	22,56
28/11	0 a 5	20,23a	20,40a	19,20a	31,28	29,38	27,65
	5 a 10	18,52a	17,95a	16,57a	29,26	26,03	24,03
	10 a 20	16,20a	15,72a	17,83a	25,60	22,79	29,60
	20 a 30	17,76a	16,62a	17,28a	28,06	27,59	28,68
	30 a 40	18,81a	17,04a	17,46a	28,78	27,09	22,76
30/11	0 a 5	15,32a	12,65a	10,26b	23,68	18,22	14,77
	5 a 10	14,41a	13,86a	13,36b	22,77	20,10	19,37
	10 a 20	13,71a	14,74a	16,16a	21,66	21,37	26,83
	20 a 30	16,31a	16,45a	16,01a	25,77	27,31	26,58
	30 a 40	16,14a	16,08a	15,35a	24,69	25,57	24,41
12/12	0 a 5	21,26a	18,52a	18,30a	32,87	26,67	26,35
	5 a 10	19,26a	17,40a	17,77a	30,43	25,23	25,77
	10 a 20	16,31a	16,26a	17,12a	25,77	23,58	28,42
	20 a 30	16,49a	19,60a	16,08a	26,05	32,54	26,69
	30 a 40	17,71a	18,60a	17,13a	27,10	29,57	27,24

APÊNDICE 2 - Continuação...

15/12	0 a 5	15,80a	14,37a	9,48b	24,43	20,69	13,65
	5 a 10	15,24a	15,42a	13,35a	24,08	22,36	19,36
	10 a 20	14,54a	16,08a	16,76a	22,97	23,32	27,82
	20 a 30	15,90a	17,00a	15,59a	25,12	28,22	25,88
	30 a 40	17,17a	18,23a	16,20a	26,27	28,99	25,76
17/12	0 a 5	12,03a	11,95a	8,44a	18,60	17,21	12,15
	5 a 10	13,55a	13,01a	11,91a	21,41	18,86	17,27
	10 a 20	13,71a	14,79a	15,53a	21,66	21,45	25,78
	20 a 30	15,12a	17,07a	15,71a	23,89	28,34	26,08
	30 a 40	15,20a	16,54a	16,34a	23,26	26,30	25,98
11/1	0 a 5	13,95a	12,48a	11,53a	21,57	17,97	16,60
	5 a 10	13,20a	12,94a	10,95a	20,86	18,76	15,88
	10 a 20	13,26a	14,52a	10,39a	20,95	21,05	17,25
	20 a 30	15,49a	17,34a	11,72a	24,47	28,78	19,46
	30 a 40	15,95a	16,44a	12,93a	24,40	26,14	20,56
9/1	0 a 5	11,10a	6,24b	3,95b	17,16	8,99	5,69
	5 a 10	12,39a	9,99ab	7,77b	19,58	14,49	11,27
	10 a 20	12,77a	12,55a	10,16a	20,18	18,20	16,87
	20 a 30	14,91a	14,04a	11,91a	23,56	23,31	19,77
	30 a 40	14,48a	13,68a	11,17a	22,15	21,75	17,76

Valores seguidos da mesma letra, dentro da profundidade, não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste Tukey. Médias de três repetições.

APÊNDICE 3 - Teores de umidade volumétrica do solo sob plantio direto e preparo convencional em diferentes potenciais e profundidades. Médias de 3 repetições. EEA/UFRGS. 1991.

Potencial ---MPa---	Sistema	-----Umidade volumétrica--(%)----			
		-----Profundidade--(cm)-----			
		0 a 2	2 a 10	20 a 25	30 a 40
0	PD	44,0 a	37,4 b	35,3 b	37,4 b
	PC	44,8 a	39,8 a	34,6 b	37,5 b
0,006	PD	31,5 a	28,3 a	28,1 a	29,7 a
	PC	29,5 a	28,4 a	26,9 a	30,2 a
0,01	PD	29,6 a	27,6 a	27,7 a	29,3 a
	PC	26,9 a	28,0 a	26,7 a	29,9 a
0,03	PD	27,7 a	23,8 a	24,7 a	25,9 a
	PD	22,6 a	24,3 a	23,8 a	26,4 a
0,1	PD	23,3 a	21,5 a	22,9 a	23,8 a
	PC	20,2 a	22,3 a	22,1 a	24,2 a
0,3	PD	20,9 a	20,3 a	22,4 a	23,8 a
	PC	18,1 a	21,0 a	21,8 a	23,8 a
0,5	PD	20,8 a	19,4 a	21,5 a	22,5 a
	PC	16,4 a	19,9 a	20,5 a	22,9 a
1,5	PD	18,7 a	19,2 a	21,4 a	21,5 a
	PC	16,3 a	19,6 a	20,1 a	22,1 a

Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si ao nível de 5%, dentro do mesmo potencial e sistema, no teste Tukey.

APENDICE 4 - Densidade do solo sob plantio direto e preparo convencional em diferentes profundidades. Valores médios de 3 repetições. EEA/UFRGS. 1991.

Profundidade	Sistemas de manejo	
	PD	PC
.. cm g/cm ³	
0 a 2	1,41a B	1,40a C
2 a 10	1,58a A	1,45b BC
20 a 25	1,58a A	1,66a A
30 a 40	1,53a AB	1,59a AB

Letras minúsculas referem-se a comparação de médias entre profundidades e maiúsculas entre sistemas de manejo. Teste Tukey a 5% de probabilidade.

APENDICE 5 - Conteúdo de matéria orgânica do solo sob plantio direto, preparo reduzido e preparo convencional em diferentes profundidades. (MELLO, 1991).

Profundidade	Sistemas de manejo		
	PD	PR	PC
.. cm %		
0 a 2,5	4,63a	4,20ab	3,29b
2,5 a 7,5	3,70a	3,53a	3,04
7,5	3,77a	3,27b	3,15b
25,0	2,84a	2,75a	2,75a

Letras diferentes indicam diferença significativa entre profundidades, ao nível de 5% pelo teste Tukey.

APÊNDICE 6 - Componentes estatísticos dos modelos matemáticos para predição da temperatura mínima, temperatura máxima e amplitude diária da temperatura do solo.

Temperatura mínima do solo:

Variável indep.	Coefficiente	Desvio padrão	t	Nível signif
constante	1,895541	1,079162	1,7565	0,0803
umidade vol.	-0,060259	0,023922	-2,5190	0,0125
cobertura	-0,0081	0,004665	-1,7364	0,0838
radiação	0,005691	0,000938	6,0678	0,0000
temp.med. ar	0,969282	0,037467	25,8703	0,0000

Análise da variância

Fonte	Soma quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
modelo	5279,42	4	1319,86	308,64	0,0
resíduo	979,29	229	4,27638		
total	6258,71	233			
r ² = 0,8435		r ² ajus.=0,8408		desvio padrão ₀ =2,0679	

Tempertura máxima do solo:

Variável indep.	Coefficiente	Desvio padrão	t	Nível signif
constante	6,692686	1,537434	4,3532	0,0000
temp.máx.ar	0,968207	0,04554	21,2605	0,0000
radiação	0,003912	0,001325	2,9528	0,0035
cobertura	-0,044505	0,006414	-6,9384	0,0000
umid.volum.	-0,131870	0,031814	-4,1450	0,0000

Análise da variância

Fonte	Soma quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
modelo	8142,91	4	2035,73	244,02	0,0
resíduo	1910,42	229	8,34234		
total	10053,71	233			
r ² = 0,809972		r ² ajus.=0,80665		desvio padrão ₀ =2,8883	

APÊNDICE 6 - Continuação...

Amplitude diária da temperatura do solo:

Variável indep.	Coefficiente	Desvio padrão	t	Nível signif
constante	3,829568	1,434503	2,6696	0,0081
cobertura	-0,038693	0,004638	-8,3427	0,0000
cap.calorif.	-0,966972	0,496787	-1,9464	0,0528
t mínima ar	-0,425343	0,038442	-11,0446	0,0000
t máxima ar	0,498987	0,039598	12,6213	0,0000

Análise da variância

Fonte	Soma quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
modelo	1371,88	4	342,970	88,283	0,0
resíduo	889,642	229	3,88490		
total	2261,52	233			

$r^2=0,606618$

r^2 ajus.=0,599747

desvio padrão=1,9710

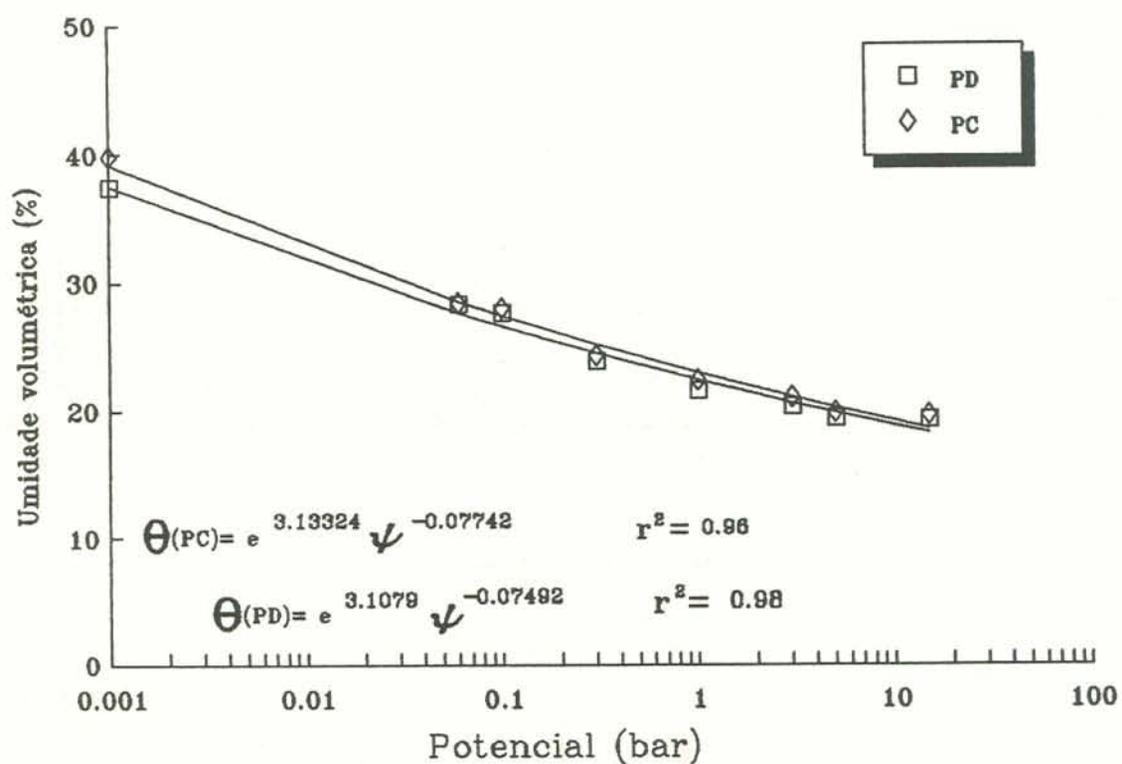
APÊNDICE 7 - Amplitude diária de variação da temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$), sob sistemas de preparo.

Data	Sistema de preparo		
	PD	PR	PC
5/9	3,1 c	4,3 b	7,9 a
6/9	0,5 a	0,7 a	0,8 a
10/9	4,7 a	4,7 a	8,3 a
13/9	2,4 c	3,6 b	5,4 a
14/9	2,5 b	3,1 b	5,4 a
17/9	3,0 c	5,1 b	8,8 a
18/9	0,1 b	0,2 b	0,5 a
19/9	2,5 b	3,2 b	5,3 a
21/9	0,9 a	1,0 a	1,1 a
24/9	3,3 c	5,5 b	9,2 a
25/9	4,5 c	6,3 b	10,5 a
26/9	3,8 c	6,6 b	10,9 a
27/9	3,9 c	6,3 b	10,1 a
28/9	2,1 b	2,5 b	5,2 a
1/10	4,7 b	5,6 b	9,7 a
4/10	4,2 c	6,3 b	10,5 a
5/10	3,9 c	6,0 b	9,7 a
9/10	0,4 c	0,9 b	1,6 a
10/10	3,6 c	5,2 b	7,2 a
11/10	2,9 c	3,6 b	4,7 a
12/10	0,8 b	1,4 ab	2,2 a
15/10	1,7 b	3,7 a	4,1 a
16/10	2,7 c	4,9 b	7,7 a
17/10	4,1 a	3,9 a	6,2 a
18/10	3,9 c	5,6 b	7,2 a
19/10	4,2 b	5,3 b	8,2 a
22/10	2,8 c	6,0 b	9,0 a
23/10	3,7 c	5,9 b	8,7 a
24/10	2,5 c	4,1 b	6,3 a
25/10	4,1 b	6,2 b	9,2 a
26/10	2,4 b	2,7 b	4,8 a
29/10	1,1 c	1,7 b	2,8 a
30/10	4,2 b	5,3 a	6,2 a
31/10	2,5 a	2,5 a	3,7 a
1/11	1,0 c	1,4 b	1,7 a
5/11	4,0 a	5,7 a	6,2 a
6/11	4,9 c	7,4 b	10,7 a
7/11	3,7 b	5,6 b	6,3 a
8/11	1,5 c	2,1 b	2,8 a
9/11	2,5 b	3,1 b	4,2 a
12/11	0,3 a	0,7 a	0,6 a
13/11	6,6 b	8,0 b	10,7 a
14/11	4,6 c	7,0 b	10,5 a
16/11	1,7 c	2,6 b	3,8 a
19/11	5,1 c	7,6 b	10,1 a

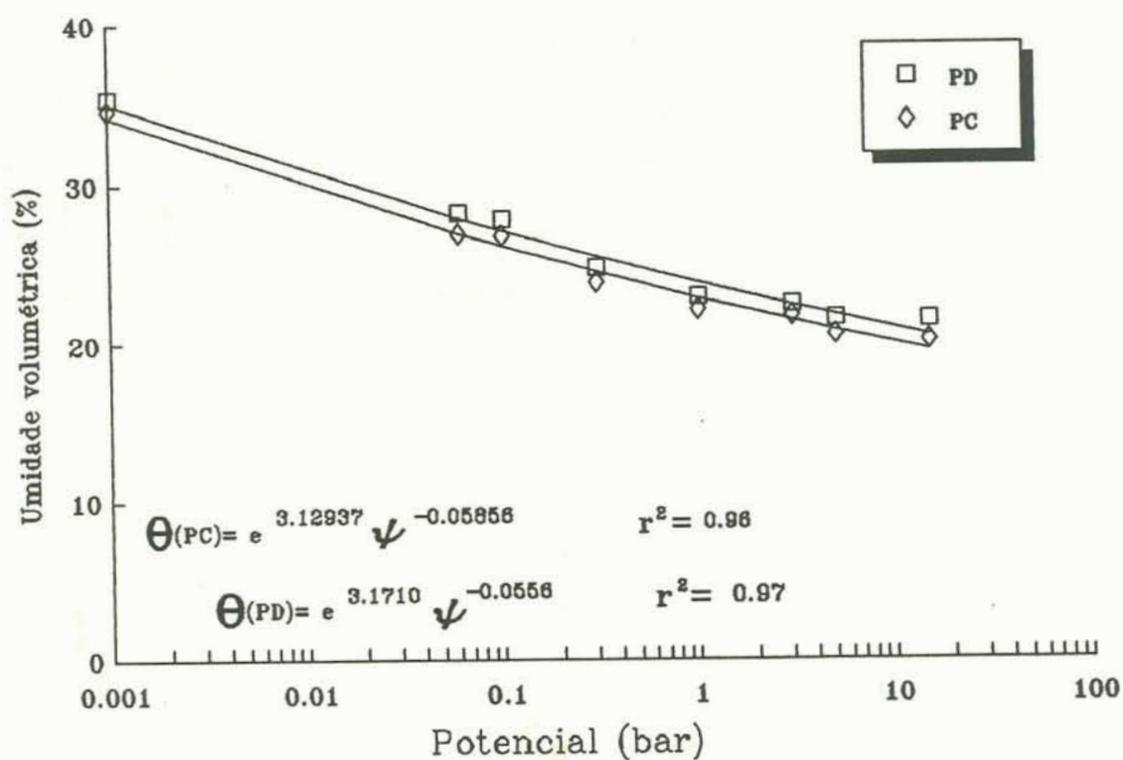
APÊNDICE 7 - Continuação...

20/11	6,4 a	6,7 a	9,3 a
21/11	4,3 b	6,2 b	9,4 a
22/11	4,6 c	7,4 b	10,9 a
23/11	4,9 c	7,5 b	9,1 a
26/11	0,7 b	0,4 b	0,0 a
28/11	6,0 b	9,4 a	11,6 a
29/11	6,3 c	9,5 b	13,0 a
30/11	5,8 c	7,9 b	10,5 a
3/12	2,3 b	3,5 a	4,4 a
4/12	6,0 c	8,5 b	11,6 a
6/12	0,5 a	0,4 a	0,1 a
7/12	4,1 b	6,1 a	6,7 a
10/12	1,0 b	1,3 ab	1,6 a
11/12	3,4 b	4,6 a	4,9 a
12/12	3,4 a	4,6 a	5,0 a
13/12	2,8 b	3,8 b	4,9 a
14/12	5,5 c	8,1 b	11,7 a
17/12	6,2 b	9,1 a	11,0 a
18/12	1,9 c	2,9 b	5,8 a
19/12	5,1 a	4,9 a	7,1 a
26/12	7,5 b	10,8 b	13,8 a
27/12	8,8 a	9,8 a	13,1 a
28/12	0,7 a	0,6 a	1,9 a
2/1	4,6 c	6,1 b	8,2 a
7/1	7,3 c	10,0 b	13,2 a
8/1	3,6 c	9,7 b	12,6 a
9/1	5,8 b	10,3 b	13,2 a
10/1	5,3 a	13,4 a	8,3 a
11/1	4,5 c	7,6 c	11,2 a

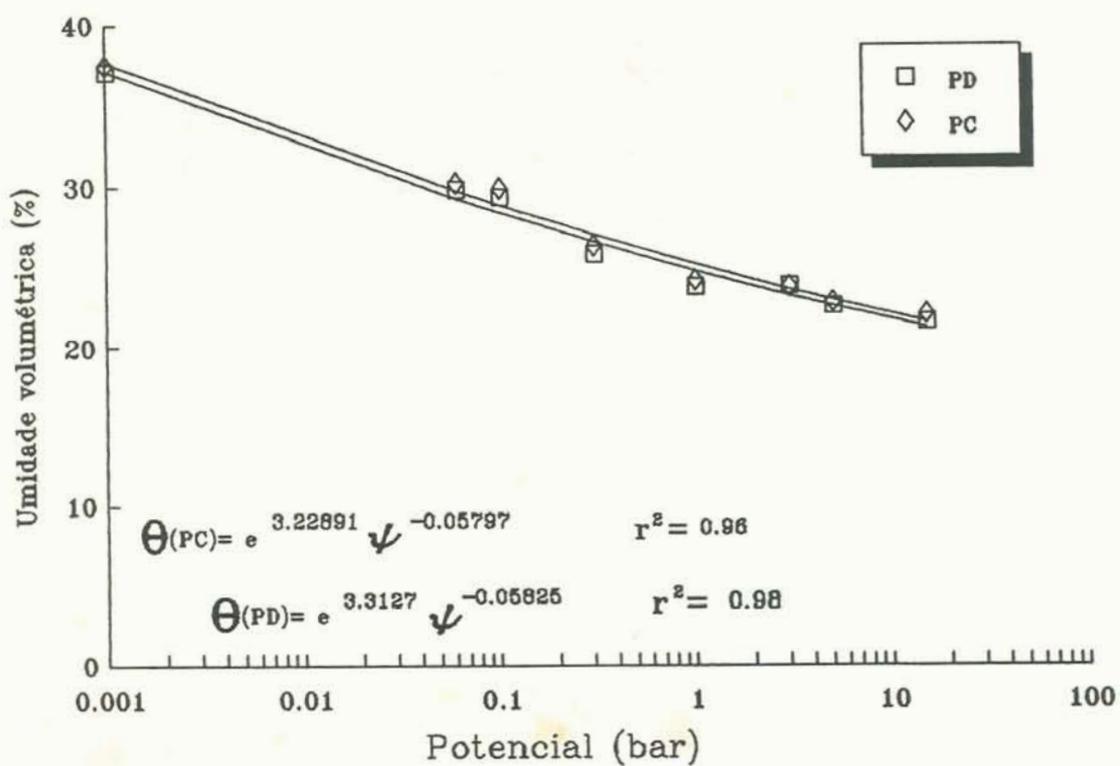
Valores em cada data, seguidos da mesma letra na_o diferem entre si ao nível de 5% pelo teste Tukey. Médias de três repetições.



APÊNDICE 8 - Curva característica de retenção de água em um solo PVE, na profundidade 2 a 10 cm, submetido a plantio direto e preparo convencional. Valores médios de 3 repetições.



APÊNDICE 9 - Curva característica de retenção de água em um solo PVE, na profundidade 20 a 25 cm, submetido a plantio direto e preparo convencional. Valores médios de 3 repetições.



APÊNDICE 10 - Curva característica de retenção de água em um solo PVE, na profundidade 30 a 40 cm, submetido a plantio direto e preparo convencional. Valores médios de 3 repetições.